

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

E.A.P. DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

**Determinación químico toxicológica de plomo y cadmio
en agua para consumo humano proveniente de los
reservorios de la zona de San Juan Pampa – distrito de
Yanacancha – Pasco**

TESIS

Para optar al título profesional de Químico Farmacéutico

AUTOR

Edwin Augusto Raraz Palpán

ASESOR

José Antonio Llahuilla Quea

Lima – Perú

2015



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA
DECANATO



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado Examinador y Calificador de la Tesis titulada:

"Determinación química toxicológica de plomo y cadmio en agua para consumo humano proveniente de los reservorios de la zona de San Juan Pampa – Distrito de Yanacancha – Pisco"

que presenta el Bachiller en Farmacia y Bioquímica:

EDWIN AUGUSTO RARAZ PALPÁN

Que reunidos en la fecha se llevó a cabo la SUSTENTACIÓN de la TESIS, y después de las respuestas satisfactorias a las preguntas y objeciones formuladas por el Jurado, y practicada la votación ha obtenido la siguiente calificación:

Dieciséte (17) – Sobresaliente

en conformidad con el Art. 34.º del Reglamento para la obtención del Grado Académico de Bachiller en Farmacia y Bioquímica y Título Profesional de Químico Farmacéutico de la Facultad de Farmacia y Bioquímica de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Lima, 01 de octubre del 2015


Mgr. JOSÉ ALFONSO PESTEGUA AFANTES
Presidente


Dr. MARIO CARRUAPOMA YANCO
Miembro


Mgr. CÉSAR AUGUSTO CANALES MARTÍNEZ
Miembro


Mgr. EDGAR ROBERT TAPIA MANRIQUE
Miembro

**A Dios, a nuestro Niño Jesús
siempre guiando y bendiciendo
el camino de mis seres queridos
y el mío**

**A nuestra Virgen de Guadalupe,
y a San Judas Tadeo
por interceder ante
el Todopoderoso
en mi día a día**

**A mis padres Feliciano y Ciria,
por su dedicación, amor, y
muchas comprensión, sacrificaron
muchas cosas para darme
lo mejor de esta vida.
Los amo mucho eternamente**

**A mis hermanos:
A Lulio, Cesar, Raúl, José, Luis
por el apoyo, el cariño y
afecto que me brindan siempre**

**A mi esposa Katherine;
mi compañera eterna,
por todo su amor, apoyo
y comprensión en el día a día
de nuestras vidas juntas.**

**A mi hijo Augusto Tadeo,
todo una bendición
que alegra mis días**

AGRADECIMIENTOS

Mi sincero agradecimiento:

A mi Asesor Mg. José Llahuilla Quea

Por su confianza, constante apoyo e invaluable orientación en la realización de este trabajo de Tesis

A los Señores miembros del Jurado Calificador y Examinador:

Al Presidente del Jurado:

Mg. José Alfonso Apesteguía Infantes

A los Miembros del Jurado:

Dr. Mario Carhuapoma Yance

Mg. Cesar Augusto Canales Martínez

Mg. Edgar Robert Tapia Manrique

Por sus apreciadas sugerencias que contribuyeron a la calidad del presente trabajo.

Al Señor Director Académico de la Facultad de Farmacia y Bioquímica:

Q.F. José Fidel Jáuregui Maldonado

Al Señor Decano de la Facultad de Farmacia y Bioquímica:

Mg. Cesar Máximo Fuertes Ruitón.

A mis grandes amigos y colaboradores a la realización de esta obra:

Walter Rivera Fernández, Gustavo Ayala Lazo, y Hermes Guerrero Heredia.

Edwin Augusto Raraz Palpán

INDICE

	Pág.
RESUMEN	vi
SUMMARY	vii
INTRODUCCIÓN	1
HIPÓTESIS	2
OBJETIVOS	2
I. GENERALIDADES:	3
CADMIO	3
1.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE CADMIO	4
1.2 TOXICOCINÉTICA DEL CADMIO	8
1.3 TOXICODINAMIA DEL CADMIO	16
1.4 EFECTOS DE LA SALUD	17
PLOMO	22
2.1 FUENTES DE CONTAMINACIÓN DE PLOMO	23
2.2 TOXICOCINÉTICA DEL PLOMO	29
2.3 TOXICODINAMIA DEL PLOMO	31
2.4 EFECTOS DE LA SALUD	35
ZONA DE SAN JUAN PAMPA, DISTRITO DE YANACANCHA. PROVINCIA PASCO – REGION PASCO	40
II.- PARTE EXPERIMENTAL	48
A) POBLACIÓN DE ESTUDIO	48
B) RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE MUESTRA	49
C) MÉTODO ANALÍTICO	50
D) FUNDAMENTO DEL MÉTODO ANALÍTICO APLICADO	50
III.- RESULTADOS	51
IV.- DISCUSIÓN	57
V.- CONCLUSIONES	60
VI.- RECOMENDACIONES	61
VII.- REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62
VIII.- ANEXOS	69

RESUMEN

El presente trabajo de investigación fue realizado a partir de Julio del 2014, en los meses siguientes se determinó la presencia de dos metales pesados (Cadmio y Plomo) en agua potable para consumo humano provenientes de los reservorios de la zona de San Juan Pampa – Pasco. Para este trabajo se hizo una división geográfica de la zona de San Juan Pampa, delimitándose 3 zonas: Zona alta, media y baja. En cada zona se ubicó un hogar que tenga los servicios básicos de agua y desagüe con la finalidad de obtener muestras a partir de sus respectivos grifos de uso diario. Debido a que la distribución del agua potable en las zonas de estudio no tiene un horario establecido y menos es diario, la toma de muestra fue realizada en un día a partir de las 7:15 a.m hasta a las 8:30 a.m. obteniéndose 20 muestras de agua potable en frascos estériles, cerrados herméticamente y refrigerados para el respectivo análisis de Cadmio y Plomo. Los resultados obtenidos por el método de Espectrofotometría por Absorción Atómica con Horno de Grafito, fueron los siguientes: Cadmio: La concentración máxima fue de 0,1076 mg/L y la concentración mínima fue de 0.0013. La concentración media total fue de 0,0155 mg/L. Asimismo la concentración media de Cadmio en la zona baja es 0,024 mg/L, la concentración media de la zona media es de 0,0117 mg/L, la concentración media de la zona alta es de 0,0099 mg/L. Plomo: La concentración máxima fue de 0,5504 mg/L y la concentración mínima fue de 0.002 mg/L y la concentración media fue de 0,2152 mg/L. Con respecto al Plomo: la concentración media de la zona Baja es 0,2313 mg/L, la concentración media de la zona Media es de 0,1925 mg/L, la concentración media de la zona Alta es de 0,2228 mg/L. Con esta información obtenida evidenciamos la presencia de niveles altos de Cadmio y Plomo en el agua potable para consumo humano perteneciente a la zona de San Juan Pampa – Pasco, llegando a ser una fuente principal de contaminación de los pobladores y superando los límites permisibles según la Organización Mundial de la Salud (OMS).

PALABRAS CLAVE: Cadmio, Plomo, Espectrofotometría por Absorción Atómica con Horno de Grafito, zona baja, zona media, zona alta. Límites permisibles, Organización Mundial de la Salud (OMS)

SUMMARY

This research work was carried out from July 2014, in the months following was determined the presence of two heavy metals (lead and cadmium) in drinking water for human consumption coming from San Juan Pampa - Pasco area reservoirs. This work was made an geographic division in the area of San Juan Pampa, defining 3 zones: zone of high, medium and low. In each zone was a home that has the basic services of water and drain with the purpose of obtaining samples from their respective daily use faucets. Since the distribution of drinking water in areas of study does not have a set schedule, and is less daily sampling was performed in a day from 7:15 a.m. to 8:30 a.m. obtaining 20 samples of drinking water in sterile jars, sealed and refrigerated for the respective analysis of cadmium and lead. The results obtained by the method of spectrophotometry by graphite furnace atomic absorption, were as follows: cadmium: maximum concentration was 0,1076 mg/L and the minimum concentration of 0.0013. The overall mean concentration was 0,0155 mg/l. also the mean concentration of cadmium in the low area is 0.024 mg/L, the average concentration of the middle zone is 0,0117 mg/L, the average concentration of uptown is 0,0099 mg/l lead: the maximum concentration was 0,5504 mg/l and the minimum concentration was 0.002 mg/l and the average concentration was 0,2152 mg/l. With regard to lead: the average concentration of the low area is 0,2313 mg/L, the average concentration of the middle zone is 0,1925 mg/L, the average concentration of the high area is 0,2228 mg/l. With this information, we showed the presence of high levels of cadmium and lead in drinking water for human consumption, belonging to the area of San Juan Pampa - Pasco, becoming a major source of pollution of the settlers and exceeding the permissible limits according to the World Health Organization (who).

KEY WORDS: Cadmium, Lead, Spectrophotometry by Atomic Absorption with Graphite Oven, lower, middle, upper area. Permissible limits, World Health Organization (WHO).

INTRODUCCION

En las últimas décadas, los aires de las capitales de todos los países latinoamericanos se han contaminado. Ello ha sido consecuencia de la instalación de industrias en su periferia, e incluso en los centros urbanos, el rápido crecimiento del parque automotor, sumado a ello una migración y desorden de crecimiento poblacional en las grandes ciudades industriales. Esta circunstancia empeora cuando nuestra ciudad de Cerro de Pasco, sinónimo de riqueza minera; pero rodeada de desmontes y relaves mineros que contaminan el aire que respiran los pobladores ubicados en éstas áreas de riesgo, y frente a otros factores determinantes que afectan la salud especialmente de la población infantil, gestantes con altos niveles de plomo en sangre (84.7% de la población en estudio), evidenciado en los últimos estudios de los años 2006 y 2007 en las localidades de Quiulacocha, Champamarca y Yanacancha, zonas cercanas a lugares de extracción del tajo abierto de la Compañía Minera Volcán.

Por todas estas razones es primordial la realización de este trabajo para determinar el grado de contaminación de la fuente principal para la existencia de todo ser humano, el agua.

HIPÓTESIS

El agua para consumo humano en la zona de San Juan Pampa - Distrito de Yanacancha – Provincia de Pasco – Región Pasco, posee concentraciones de plomo y cadmio superiores a las consideradas seguras por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

- ✓ Determinar las concentraciones de plomo y cadmio a partir de agua para consumo humano de la zona urbana San Juan Pampa –Distrito de Yanacancha – Provincia de Pasco.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ✓ Comparar la concentración de cadmio en agua potable en 3 puntos distintos de la zona de estudio (Zona alta, media y baja de la ciudad) versus los límites máximos permisibles según la Organización Mundial de la Salud (OMS).
- ✓ Comparar la concentración de plomo en agua potable en 3 puntos distintos de la zona de estudio (Zona alta, media y baja de la ciudad) versus los límites máximos permisibles según la Organización Mundial de la Salud (OMS).

I. GENERALIDADES

1. CADMIO:

El cadmio, su símbolo químico es Cd, pertenece al Grupo II B de la Tabla Periódica. Es un metal de color blanco brillante, dúctil, maleable y resistente a la corrosión. Su densidad es de 8.642 g/cm³, y sus vapores son 3.88 veces más pesados que el aire. Su presión de vapor es relativamente alta, por lo que pasa fácilmente al estado de vapor y en este estado se oxida rápidamente produciendo óxido de cadmio que permanece en el aire. Cuando en la atmósfera hay gases o vapores reactivos, como los bióxidos de azufre o de carbono, reaccionan con ellos y produce respectivamente carbonato, sulfito, hidróxido, sulfato y cloruro de cadmio ⁽¹⁾.

No se recupera como producto principal de las minas, sino como un subproducto de la extracción de otros metales no ferrosos, principalmente de minerales de zinc. Alrededor del 18 por ciento del consumo mundial proviene del reciclaje. Los usos principales del cadmio refinado son: en baterías (pilas Niquel-Cadmio), pigmentos para plásticos, cerámica y esmaltes; estabilizadores para plásticos, placas de hierro y acero, también como elemento de aleación de Plomo, Cobre y Estaño ⁽¹⁾.

Debido a su similitud con el metal esencial Zinc, las plantas absorben el cadmio del agua de riego, por esto, el empleo de fertilizantes a base de fosfatos que contienen Cadmio en forma iónica como contaminante natural o su presencia en el lecho de ríos y mares contaminados por las descargas industriales aumentan

los niveles del elemento en los suelos y por lo tanto en las plantas. La concentración de cadmio biodisponible aumenta cuando disminuye el pH del suelo, por lo que un efecto indeseable más de la lluvia ácida es el aumento de los niveles de Cadmio en los alimentos ⁽¹⁾.

Cabe señalar que en 1999 el cadmio fue clasificado como carcinógeno humano de categoría I, por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IRAC).

1.1.- FUENTES DE EXPOSICION AL CADMIO:

1.1.1.- MEDIO AMBIENTE

La fuente más importante de descarga de Cadmio al medio ambiente es la quema de combustibles fósiles (como carbón o petróleo); la incineración de la basura doméstica común y el uso de fertilizantes fosfatados. El Cadmio también contamina el aire cuando se funden rocas para extraer Zinc, Cobre o Plomo. Trabajar o vivir cerca de una de estas fuentes contaminantes puede resultar una sobreexposición al Cadmio. El Cadmio y sus compuestos emitidos por las fuentes señaladas se distribuyen y se presentan de modo diferente según las características de los medios que se señalan a continuación ⁽²⁾.

1.1.1.1.- AGUA

El agua en áreas no contaminadas presenta concentraciones muy bajas de cadmio: 0,04 µg/L - 0,3 µg/L en océanos y alrededor de 1 µg/L en ríos. En las regiones en donde hay contaminación por cadmio estas concentraciones se pueden elevar mucho; así se

han encontrado niveles de 0,001 mg/L hasta 0,115 mg/L. La importancia de estas concentraciones en el agua varía según la utilización que a ésta el hombre le dé, sea para consumo humano u otros usos ⁽²⁾.

El Cadmio que llega al agua procede principalmente de vertidos industriales y urbanos. La contaminación depende también de la cercanía de superficies acuáticas a zonas urbanas, ya que no será igual la cantidad del cadmio que puede llegar a un río cercano a una zona industrial, que en alta montaña. Sin embargo, parte del cadmio atmosférico acaba siendo depositado en la superficie acuática, y representa el 23% del cadmio contaminante, es decir, es la vía principal de entrada de cadmio en agua ⁽³⁾.

1.1.1.2 AIRE

La forma química más importante en que el cadmio se presenta en el aire es como óxido de cadmio. En las grandes ciudades en donde hay actividades industriales importantes, se han encontrado concentraciones elevadas del cadmio en el aire de $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en exposición a otras áreas contaminadas en donde existen niveles de $0,001 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (rurales) y de $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$ hasta $0,05 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (urbanas). La presencia de Cadmio en el aire adquiere interés cuando se piensa en los efectos de este contaminante para la salud humana, ya que puede penetrar al organismo por la vía respiratoria y ser absorbido ⁽²⁾.

1.1.1.3 SUELO

En áreas no contaminadas el cadmio se encuentra en el suelo alrededor de 1mg/Kg (1ppm). La contaminación del suelo por depósito de partículas del aire o por agua contaminada por actividades industriales, ha determinado concentraciones de hasta 16 mg/Kg ⁽²⁾.

La mayor parte de cadmio vertido por el hombre va a parar al suelo. Al igual que en el agua, la vía principal de deposición es la atmosférica (23% del total), seguida de vertidos urbanos, uso de barros industriales como fertilizantes para mejorar las características minerales de los suelos, o uso de fertilizantes, como derivados de fosfato impuros.

Se considera la concentración de Cadmio en suelos entre 0,3 µg/g – 0,6 µg/g. y se piensa que esta concentración se doblará cada 50 años – 80 años, contando los índices de emisión de origen humano. Actualmente, en la mayoría de suelos urbanos, es raro encontrar concentraciones inferiores a 1,0 ⁽³⁾.

1.1.2.- OCUPACIONAL:

Las fuentes responsables de la exposición ocupacional al Cadmio son numerosas: Fabricación de baterías, de pigmentos en vidrios y esmaltes, litografía, fotografía, semiconductores, rectificadores, etc. Para prevenir sus efectos tóxicos, algunos países han publicado programas de seguimiento ambiental y biológico. En la Comunidad Europea, la situación es: Bélgica, Irlanda, Italia y Alemania disponen de

programas nacionales; Inglaterra y Portugal programas limitados; el resto de países no los poseen o no se tiene información sobre ellos ⁽⁴⁾.

1.1.2.1.- MINERIA

La minería de metales no ferrosos es la principal fuente de liberación de cadmio al medio acuático, la contaminación puede provenir del agua de drenado de minas, de las aguas residuales del procesamiento de los minerales, de derrames de los depósitos, de desechos del proceso del mineral, del agua de lluvia que cae en el área general de la mina y de las partículas más ligeras de mineral que pasan a través de los cedazos en las operaciones de concentración y purificación. El depósito húmedo de Cadmio en aguas saladas y dulces causa un incremento muy grande del metal en todo el mundo. Un estudio realizado en el mar del mediterráneo con el Grupo de Expertos sobre Contaminación Marina (GESAMP), indica que esta fuente es de magnitud comparable a la contribución total de Cadmio debido a la descarga de los ríos en la región, en forma similar se introducen grandes cantidades de cadmio en el Mar del Norte ⁽⁵⁾.

1.1.2.2.- AGRICULTURA

El contenido de cadmio en los fertilizantes es muy variable y depende del origen de la roca, se ha calculado que los fertilizantes procedentes de África occidental contienen entre 160 gramos y 225 gramos de Cadmio por tonelada de pentóxido de

fósforo, en tanto que la concentración de cadmio en los fertilizantes procedentes del sureste de los EE UU es de 36 g/Toneladas. Esto significa un aumento del 1% en el nivel de Cadmio en el suelo superficial en donde se apliquen los fertilizantes de EE.UU.

A pesar de que la tasa de incremento es relativamente pequeña, se ha demostrado que la aplicación continua de fertilizantes que contienen Cadmio causa un incremento notable en la concentración del metal en suelos de donde puede pasar a las plantas e incorporarse a la cadena trófica como ocurrió en Japón en el caso del “itai-itai” (Osorio Saldívar, 1997) ⁽⁵⁾.

1.1.2.3.- OTROS

De menor importancia en contaminación ambiental por Cadmio son las partículas de polvo de caucho provenientes de las ruedas de automóvil, de la galvanización con Zinc de tuberías, de plásticos que contienen pigmentos coloreados de Cadmio y de la industria de cerámica glaseada ⁽⁶⁾.

1.2.- TOXICOCINÉTICA DEL CADMIO

La absorción, distribución y excreción del cadmio en el ser humano en condiciones “normales” de exposición ambiental, se muestra sintetizadas en la Figura 1.

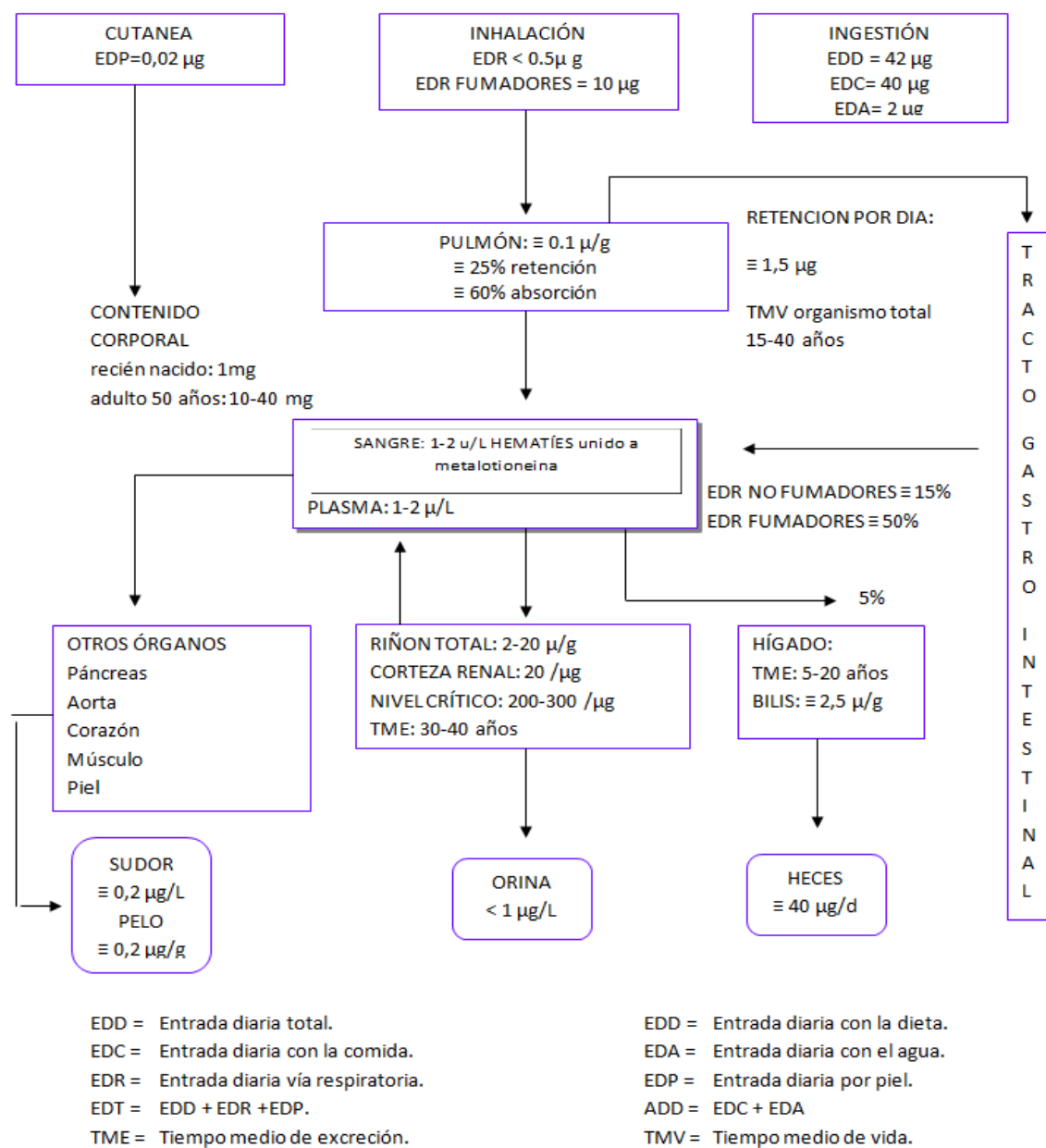


Figura 1. Toxicología del Cadmio – Toxicocinética

Fuente: Toxicología del Cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental y ocupacional con indicadores biológicos S. Augusto Ramírez. ISSN 1025 - 5583: Vol. 63, Nº1 - 2002.

El contenido corporal del Cadmio se incrementa con la edad hasta los 50 años. En los adultos, la carga corporal de Cadmio puede llegar a 40 miligramos, dependiendo de la situación geográfica y sobretodo del hábito de fumar, pues en un fumador la carga alcanza el doble ⁽⁷⁾.

El cadmio metálico y las sales de cadmio no se absorben bien. Aproximadamente un 25%, 1% - 10% o <1% de la dosis se absorbe tras la exposición respiratoria, oral o dérmica respectivamente.

Existen diversos factores que pueden influir en la absorción por inhalación y oral, como por ejemplo, el tamaño de partícula o el estado fisiológico del individuo.

Tras la absorción, independientemente de la vía de entrada, el Cadmio se distribuye ampliamente por el organismo, concentrándose principalmente en el hígado y riñón.

No se conoce ninguna conversión metabólica tal como la oxidación, reducción o alquilación que afecte al cadmio. Una vez absorbido, el Cadmio se excreta muy lentamente, siendo las excreciones urinaria y fecal muy similares.

1.2.1.- ABSORCIÓN

El Cadmio se puede absorber por vía inhalatoria, oral o dérmica, según la vía de exposición, independientemente de su forma química. Sin embargo, la absorción dérmica es relativamente insignificante y son la absorción tras la exposición respiratoria y oral las de mayor interés.

El cadmio y sus sales presentan baja volatilidad y existen en el aire como materia finamente particulada. Cuando son inhaladas, una parte

de estas partículas se deposita en el tracto respiratorio y los pulmones, mientras que el resto son exhaladas. Las partículas grandes (mayores de 10 μm de diámetro) se depositan por impacto en la parte superior del tracto respiratorio, y se eliminan en gran parte por procesos mucociliares de manera que una pequeña fracción se absorbe finalmente por vía oral. Las partículas de menor tamaño (0,1 μm) tienden a penetrar en los alvéolos, y dependiendo de la solubilidad de las partículas, se absorben y distribuyen por el organismo. La solubilidad en los fluidos pulmonares de las sales de cadmio juega un papel importante en la absorción tras la exposición respiratoria.

Así pues, el tamaño de partícula determina la absorción pulmonar. En el caso del humo de tabaco, la gran absorción de cadmio que se produce se debe al pequeño tamaño de las partículas y la consecuencia es una elevada deposición de cadmio a nivel alveolar.

En cuanto a la absorción tras la exposición oral, la mayor parte del cadmio pasa por el tracto digestivo sin ser absorbido ⁽⁸⁾.

La absorción oral de cadmio se estima en aproximadamente entre 1%-10%. Los mecanismos implicados en la absorción a nivel intestinal de cadmio no han sido completamente aclarados, hay evidencia de que uno o más transportadores de metales están implicados. Numerosos estudios muestran que el transportador de metales divalentes (DMT1) juega un papel importante en la absorción gastrointestinal de cadmio ^(9,10).

La carga corporal de hierro influye en la absorción de cadmio, los sujetos con bajas reservas de hierro presentan una absorción de cadmio de entre

6% a 8%, mientras que en aquellos con reservas de hierro adecuadas la absorción oscila entre 2.3% a 2.4% ⁽¹¹⁾.

Así pues, la absorción tras la exposición oral a cadmio parece depender de la fisiología del individuo (edad, reservas de Hierro, Calcio y Zinc, embarazos...) así como de la presencia de otros iones y diversos componentes de la dieta ⁽¹²⁾.

Por último, existen numerosos estudios sobre la absorción dérmica de cadmio realizados en modelos animales, sin embargo, tan sólo existe uno en el que se utiliza in vitro piel humana para determinar la absorción percutánea de cadmio ^(13,14).

Los resultados de todos estos estudios sugieren que la absorción dérmica es lenta, y sería preocupante tan sólo en aquellas situaciones en las que la exposición por esta vía fuera con soluciones con alta concentración de cadmio y prolongada en el tiempo.

1.2.2.- DISTRIBUCIÓN

Una vez absorbido, el cadmio se une a las células de la serie roja de la sangre y a la albúmina. Se distribuye ampliamente por el organismo, concentrándose principalmente en hígado y riñón.

Estudios realizados en seres humanos y en animales muestran que en ambos el patrón de distribución es similar, y aparentemente independiente de la vía de exposición, aunque sí está relacionado con

la duración de la exposición. No existen estudios en seres humanos en relación a la distribución tras la exposición dérmica a cadmio.

Las metalotioneínas (MT) son un grupo de proteínas que unen metales, ricas en residuos de cisteína, cuya síntesis ocurre principalmente en hígado y riñón.

Su producción depende de la disponibilidad de elementos de la dieta, como Zinc y Selenio y de aminoácidos como Histidina y Cisteína y juegan un papel crítico en la toxicocinética y toxicidad del cadmio ⁽¹⁵⁾.

Así pues, el Cadmio tras ser absorbido, se transporta al hígado, donde se une a la metalotioneína presente en el mismo, e induce la síntesis de más metalotioneína, que secuestra a su vez cadmio de otros sitios de unión, protegiendo las células hepáticas de su toxicidad. El Cadmio unido a metalotioneína se transporta por la sangre hasta el riñón, donde se filtra a través del glomérulo y se reabsorbe por pinocitosis en el túbulo proximal, tras lo que el complejo Cadmio-metalotioneína se cataboliza en los lisosomas, liberándose iones de cadmio que inducen nuevamente la síntesis de metalotioneína en la célula renal. El Cadmio tiene una vida media muy larga, lo que se puede explicar por su capacidad de inducir la síntesis de metalotioneína ^(16,17).

1.2.3.- METABOLISMO

El cadmio procede de dos vías de ingreso: inhalación e ingestión. La fracción que pasa a sangre se distribuye en 3 compartimentos de recambio:

- i. Compartimento 1 de “recambio rápido” y, por tanto, no genera acumulación.
- ii. Compartimento 2 de “recambio medio”, constituido por los eritrocitos, en los que se acumula en pequeñas cantidades.
- iii. Compartimento 3 de “recambio lento”; aquí, una fracción significativa de cadmio se une a metalotioneína y va a depositarse en los órganos blanco.

Los compartimentos 1 y 3 son los de mayor intercambio con los demás órganos y se estima que desde el compartimento 1 la tasa de transferencia a otros tejidos es de 50% y al hígado de 16%. Entre los tres compartimentos hay equilibrio dinámico, sin embargo, existiría un aporte extra del riñón hacia el compartimento 1. En el riñón, el compartimento 3, aunque en forma lenta, es el de mayor intercambio y por tanto no se produce acumulación, pero sí filtración por el glomérulo. Una parte se reabsorbe en el túbulo, contribuyendo así a su acumulación. El excedente se excreta con la orina.

Entre el 75% a 80% del cadmio que se acumula en el hígado y los riñones se une a una proteína soluble, inducida y de bajo peso molecular. Esta proteína se denomina metalotioneína y su peso molecular varía entre 6.000 D. a 7.000 D.

Un 11% de esta proteína puede unirse a cadmio y cinc debido a su gran número de grupos sulfhidrilos (SH) que se atribuyen al aminoácido cisteína.

Las características de las metalotioneínas son:

- Ausencia de aminoácidos aromáticos.

- Alto contenido de cisteína.
- Gran afinidad por ciertos metales (Cadmio, Zinc, Mercurio, Plata, Estaño).

Estas proteínas han sido aisladas del riñón, hígado, bazo, intestino, corazón, cerebro, pulmón y piel.

El cadmio unido a esta proteína es eliminado en la orina y, cuando la cantidad de cadmio que ingresa al organismo excede la reserva de metalotioneína, se produce acumulación de éste en hígado y riñón especialmente. Básicamente, esta proteína juega un rol protector frente a la exposición a ciertos metales ⁽¹⁸⁾.

1.2.4.- EXCRECIÓN Y ELIMINACIÓN

La vida media del cadmio en el organismo es muy larga y se estima entre 10 años a 30 años, tiempo en el cual permanece almacenado en varios órganos, en particular en el hígado y los riñones en los que se encuentra cerca del 50% de la carga corporal total ⁽¹⁸⁾.

La eliminación se lleva a cabo a través de las heces y la orina y comprenden sólo aproximadamente 0,01-0,02% de la carga de Cd total en el cuerpo. El aumento de eliminación por orina de Cd que se produce cuando aparece daño. Debido a la gran proporción (90-95%) de Cd ingerido pero no absorbido, el Cd fecal total es un indicador de la dosis de Cd ingerido; su valor es aproximadamente 50 veces mayor que la eliminación urinaria diaria. Los estudios en animales han demostrado que la verdadera eliminación de Cd en las heces es

dependiente de la dosis, y es aproximadamente la misma que la eliminación urinaria (Nordberg G. 2007).

1.3.- TOXICODINAMIA DEL CADMIO

El cadmio es un xenobiótico y, por tanto, un metal tóxico y no esencial para el organismo, que se acumula en los órganos blandos, hígado y riñón. En exposición laboral o ambiental, sus principales efectos tóxicos son: neumonitis química, disfunción renal con proteinuria, micro proteinuria, micro albúminas y enfisema.

El riñón es más sensible al cadmio que pulmón e hígado y el epitelio del túbulo renal proximal es el punto blanco. Su deterioro se pone de manifiesto por el incremento de proteínas de peso molecular bajo, lo que causa “proteinuria de peso molecular bajo. Concomitantemente, hay alteración de la filtración glomerular, por cambios en la restricción electrostática para la filtración de las proteínas polianiónicas, lo que disminuye su reabsorción y conduce a incrementar la excreción urinaria de proteínas de peso molecular alto, que origina “proteinuria de peso molecular alto”. Teóricamente, pues no se ha demostrado in vivo, la acción tóxica del cadmio se debería a su afinidad por radicales de los grupos Sulfhidrilo (SH), Hidroxilo (OH), Carboxilo, Fosfatil, Cisteinil e Histidil y a su acción competitiva con otros elementos funcionalmente esenciales, Zinc, Cobre, Hierro y Calcio. Sus principales interacciones serían:

- Unión fuerte del Cadmio a los grupos Sulfhidrilo (SH) de las proteínas intracelulares, que inhibiría a las enzimas que poseen estos grupos.
- Desplazamiento del Zinc de los enlaces disulfuro (-S-) y la consiguiente alteración enzimática y de sus procesos bioquímicos, que se refleja en su deficiencia relativa.

De las metalotioneínas, se sabe ahora que existen dos tipos, que se comportan de forma distinta respecto a acumulación del xenobiótico y a su excreción urinaria.

La fracción de Cadmio en plasma se encuentra unida en forma inestable a la metalotioneína 1 y es la que se transfiere rápidamente al riñón. En el tejido renal, en cambio, el Cadmio acumulado se encuentra unido en forma relativamente estable a la metalotioneína 2 y su vida media se estima hasta en 68 años. En el hígado, la mayor cantidad de Cadmio acumulado se encuentra unido también a la metalotioneína 2, con una vida media estimada hasta en 19 años. La vida media en sangre es aproximadamente de 2,5 meses. No tenemos datos sobre vida media en otros órganos o tejidos; sin embargo, puede afirmarse que 50% del contenido total corporal de cadmio está en riñones, hígado y sangre, por lo que a estos 3 órganos se les denomina compartimiento de depósito ⁽⁶⁾.

1.4.- EFECTOS SOBRE LA SALUD

1.4.1.- EFECTOS EN EL SISTEMA RESPIRATORIO

En los seres humanos la inhalación tras la exposición a altas concentraciones de cadmio de vapores y polvo de cadmio es muy

irritante para el tracto respiratorio si bien los síntomas tardan en aparecer. Durante e inmediatamente después de la exposición aguda (hasta 2 horas) se pueden observar síntomas como tos e irritación de garganta y mucosas. Desde las 4 horas hasta las 10 horas tras la exposición, aparecen síntomas similares a la gripe, incluyendo tos, opresión y dolor de pecho, disnea, dolor, malestar generalizado, sudoración, escalofríos y dolor de espalda y de extremidades. Desde las 8 horas hasta 7 días tras la exposición, aparecen estados más avanzados de daño pulmonar, como disnea severa y sibilancias, dolor de pecho y constricción precordial, tos persistente, debilidad y malestar general, anorexia, náuseas, diarrea, dolor abdominal, hemoptisis y postración. La exposición aguda a elevados niveles de cadmio puede ser fatal, y aquellos sujetos que sobreviven presentan trastornos de la función pulmonar durante años, incluso tras una sola exposición aguda.

1.4.2.- EFECTOS EN EL SISTEMA CARDIOVASCULAR

Estudios sobre los efectos cardiovasculares en seres humanos tras la exposición oral a cadmio han investigado principalmente la relación entre la presión arterial y biomarcadores de exposición a cadmio tales como concentraciones en sangre, orina y otros tejidos. El hábito tabáquico es un importante factor de confusión debido a los altos niveles de cadmio en sangre, orina y tejidos de los fumadores y a los conocidos efectos cardiovasculares del tabaco.

Existen numerosos estudios transversales realizados con los datos obtenidos del National Health and Nutrition Examination Surveys

estadounidense (NHANES, 2012) que investigan la asociación entre las concentraciones de cadmio en sangre y orina y sus posibles efectos cardiovasculares. Se ha encontrado asociación con enfermedad arterial periférica ^(19,20), infarto y fallo cardíaco ⁽²¹⁾ y con los niveles de presión sanguínea ⁽²²⁾, siendo estos datos notables dado los bajos niveles de exposición de cadmio en Estados Unidos.

1.4.3.- EFECTOS EN EL SISTEMA LOCOMOTOR

La intoxicación por cadmio puede afectar gravemente la homeostasis y el metabolismo del calcio. Osteomalacia y osteoporosis, acompañadas de dolor óseo, forman parte de la enfermedad de Itai-Itai, descubierta a finales de 1940 y que afectaba a mujeres postmenopáusicas y multíparas que presentaban importantes deformidades óseas, osteoporosis y nefropatía crónica ⁽²³⁾. En el caso de esta enfermedad, la malnutrición y la deficiencia de vitamina D fueron factores contribuyentes a la aparición de la misma.

Los efectos del cadmio sobre el hueso normalmente aparecen tras el daño renal y parecen ser secundarios a los cambios en el metabolismo del calcio, fósforo y vitamina D ⁽¹²⁾.

Los efectos sobre el hueso se han estudiado principalmente tras la exposición a elevados niveles de cadmio, ya sea en trabajadores o en población residente en áreas contaminadas. No obstante, también se han encontrado en población general expuesta a bajos niveles de cadmio ⁽²⁴⁾.

1.4.4.- EFECTOS RENALES

Los efectos renales de la exposición crónica a cadmio se caracterizan por necrosis del túbulo proximal y disfunción renal y pueden darse tras la exposición oral o inhalatoria.

Las manifestaciones de la nefropatía inducida por cadmio incluyen proteinuria, aminoaciduria y glucosuria, frecuentemente acompañadas por un aumento del cadmio en orina. Las lesiones más importantes se producen en la corteza renal.

Esta proteinuria se caracteriza por proteínas de bajo peso molecular que en condiciones normales serían reabsorbidas en el túbulo proximal, siendo la β 2- microglobulina la más afectada. Sin embargo, existen numerosas proteínas de bajo peso molecular que también se ven involucradas en la proteinuria inducida por cadmio, como la lisozima y la proteína de unión a retinol (RBP) ^(25, 26).

Los efectos renales del cadmio no sólo se presentan en trabajadores expuestos a cadmio, sino que también se ha observado proteinuria de bajo peso molecular en población general expuesta tan sólo al cadmio medioambiental.

1.4.5.- CARCINOGENESIS Y TERATOGENESIS

La exposición a cadmio en el lugar de trabajo ha sido relacionada con carcinogénesis en diversos tejidos, incluyendo pulmones, próstata, riñones y estómago en numerosos estudios epidemiológicos ⁽¹²⁾. Un número escaso de estudios indican asociación entre los niveles de cadmio de la comida o el agua de bebida y el cáncer de próstata.

Así mismo, existen numerosos estudios epidemiológicos que no encuentran asociación entre el cadmio y el cáncer en humanos. No obstante, la evidencia en estudios con animales indica que el cadmio puede ser un potente carcinógeno y en los últimos años, se ha mostrado que el cadmio presenta actividad estrogénica y androgénica⁽²⁷⁾. Se ha propuesto que el cadmio es un disruptor endocrino capaz de inducir respuestas estrogénicas pudiendo contribuir a la alta incidencia de cánceres hormonodependientes⁽²⁸⁾.

Es considerado como un agente cancerígeno por la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y el Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos (DHHS). A su vez la Agencia de Protección Ambiental estadounidense (EPA) establece que si se inhala el cadmio es probablemente un carcinógeno⁽¹²⁾ y está descrito como sustancia carcinogénica de categoría B1 en la Ficha Internacional de Seguridad Química.

No se han observado efectos teratogénicos del cadmio en seres humanos. Sin embargo, en modelos animales sí se ha mostrado que es un potente teratógeno⁽¹⁸⁾.

2. PLOMO:

Elemento químico plomo (Pb), su número atómico es 82 y su peso atómico es 207.19. Es un metal pesado (con densidad relativa o gravedad específica de 11.4 a 16°C (61°F)), de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad a 327.4°C (621.3°F) y hierve a 1725°C (3164°F). Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico. El plomo es un anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. El plomo forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos ⁽²⁹⁾.

El plomo rara vez se encuentra en su estado elemental, el mineral más común es el sulfuro, la galeana, los otros minerales de importancia comercial son el carbonato, cerusita, y el sulfato, anglesita, que son mucho más raros. También se encuentra plomo en varios minerales de uranio y de torio, ya que proviene directamente de la desintegración radiactiva (decaimiento radiactivo). Los minerales comerciales pueden contener tan poco plomo como el 3%, pero lo más común es un contenido de poco más o menos el 10%. Los minerales se concentran hasta alcanzar un contenido de plomo de 40% o más antes de fundirse. El uso más amplio del plomo, como tal, se encuentra en la fabricación de acumuladores (baterías). Otras aplicaciones importantes son la fabricación de forros para cables, elementos de construcción, pigmentos, soldadura suave y municiones ⁽²⁹⁾.

Según Organización Mundial de la Salud (OMS), que en niños la exposición al plomo causa cada año 600 000 nuevos casos de discapacidad intelectual, 143

000 vidas al año, registrándose las tasas más altas de mortalidad en las regiones en desarrollo.

2.1.- FUENTES DE EXPOSICION AL PLOMO:

2.1.1.- MEDIO AMBIENTE

El plomo se encuentra en el ambiente en forma natural. Sin embargo, la mayoría de los niveles altos que se encuentran en el ambiente se originan de actividades humanas. Los niveles ambientales de plomo han aumentado más de mil veces durante los tres últimos siglos como consecuencia de la actividad humana. El mayor incremento ocurrió entre los años 1950 y 2000 y reflejó el aumento del uso de gasolina con plomo en todo el mundo. El plomo puede entrar al ambiente a través de liberaciones desde minas de plomo y otros metales, y desde fábricas que manufacturan o usan plomo, aleaciones de plomo o compuestos de plomo. El plomo es liberado al aire cuando se quema carbón, petróleo o desechos. Antes de que se prohibiera el uso de gasolina con plomo, la mayor parte del plomo liberado al ambiente en Estados Unidos provino del escape de automóviles. En el año 1979, los automóviles liberaron 94.6 millones de kilogramos (208.1 millones de libras) de plomo al aire en Estados Unidos. El año 1989, cuando se restringió el uso del plomo, los automóviles liberaron solamente 2.2 millones de kilogramos (4.8 millones de libras) al aire. Desde que la Environmental Protection Agency (EPA-Organización de Protección del Medio Ambiente) prohibió el uso de gasolina con plomo para transporte por carretera el año 1996, la cantidad de plomo liberada al aire ha

disminuido aún más. Antes del año 1950, el plomo se usó en plaguicidas que se aplicaron a huertos frutales. Una vez que el plomo entra a la atmósfera, puede viajar larga distancia si las partículas de plomo son muy pequeñas. El plomo es removido del aire por la lluvia y por partículas que caen al suelo o en aguas de superficie⁽³⁰⁾.

2.1.1.1.- AGUA

El agua de mar contiene entre 0,003 mg/L y 0,20 mg/L de Plomo. Las concentraciones de este metal en aguas marinas contribuyen a la contaminación de los peces que habitan en ellas. Estudios realizados en aguas marinas del litoral de Valencia no se han encontrado concentraciones superiores a los 10 mg/L que es el nivel seguro. Sin embargo, sí se han detectado concentraciones superiores en las cercanías de industrias contaminantes.

El agua natural contiene menos de 0,005 mg/L de plomo en forma de sales o disuelto por el CO₂.

Actualmente, el contenido de plomo en las aguas destinadas a consumo humano está regulado por la Directiva 98/83/CE que establece el límite máximo en 10 mg/L.

Es también muy importante la cesión de plomo por parte de las tuberías de las redes de distribución de agua urbana. Actualmente, está prohibido por las normas de urbanismo modernas el empleo de este tipo de cañerías. Se aconseja el uso de tuberías galvanizadas y plásticas. En aguas duras las tuberías

quedan protegidas por una costra de carbonato cálcico que impide que se disuelva el plomo de las mismas ⁽³⁰⁾.

Se han realizado estudios sobre los niveles de plomo en las aguas de consumo público del Gran Bilbao, obteniéndose unas ingestas de plomo procedente del consumo de agua para adultos del 3% de la Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI) y para niños de 5 Kg de peso y que consumen 0,75 L/día, el 12% de la PTWI ⁽³¹⁾.

Finalmente señalar que el Comité Mixto FAO/OMS ha establecido para el plomo una Provisional Tolerable Weekly Intake (PTWI- Consumo semanal tolerable provisional) de 25 mg/Kg/semana.

2.1.1.2 AIRE

Alrededor del 50% o más del plomo emitido al aire por fuentes antropogénicas, corresponde al proveniente de vehículos automotores que usan gasolina con aditivos de plomo como el tetraetilo de plomo $[Pb(C_2H_5)_4]$ que es usado para aumentar el octanaje (84 octanos y 95 octanos).

Las concentraciones de plomo en el aire varían significativamente de acuerdo con la distancia a la fuente contaminante. En lugares muy remotos las concentraciones mínimas de plomo en aire son del orden de $0,1 \mu g/m^3$. En áreas rurales muy cercanas a ciudades se han observado concentraciones medias de $0,21 \mu g/m^3$. En ciudades con actividad industrial y vehicular importante los valores fluctúan entre $1 - 10 \mu g/m^3$.

En calles urbanas de alto tránsito los valores pueden sobrepasar los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y en zonas vecinas a fundiciones el aire puede llegar a contener sobre $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Es importante resaltar que el plomo atmosférico tiene mucha significación en la contaminación global del ambiente y en el aporte de plomo al organismo humano⁽³²⁾.

2.1.1.3 SUELO

El suelo es contaminado principalmente por depósito de partículas del aire y por agua contaminada por actividades industriales. Asimismo, el desgaste de las pinturas con plomo de las casas contaminan los suelos.

Los plaguicidas con contenido de Plomo (Arseniato de Plomo), contaminan los suelos, especialmente los suelos agrícolas. Las concentraciones normales en el suelo no contaminado están entre 5 – 25 mg/kg. En áreas contaminadas se pueden encontrar en el suelo concentraciones de hasta 8 g/kg. A distancias de 1 metro hasta 25 metros de las vías de tránsito más importantes, las concentraciones de plomo en los suelos pueden llegar hasta los 2 000 mg/kg.

En los suelos colindantes a fundiciones se han medido concentraciones de plomo tan altas como 60 000 mg/kg. En los suelos urbanos, el plomo se encuentra como una mezcla de polvo, restos de pintura y partículas atmosféricas con plomo que se sedimentan en el suelo. Puesto que el plomo no se disipa, se

biodegrada o decae, cuando se deposita en el suelo puede ser una fuente de exposición a largo plazo.

El plomo queda inmóvil en el componente orgánico del suelo, quedando retenido en las capas superiores (2cm – 5cm) de los suelos no alterados o en las capas más profundas cuando se ha removido⁽³²⁾.

Una manera de reducir la contaminación por plomo es de la siguiente forma:

Se añade fósforos al suelo contaminado con plomo para cambiar el plomo de su composición nociva, el fósforo es un componente en los fertilizantes. La adición de fósforos a suelos contaminados con plomo tiene un efecto doble muy rápido:

- 1) Fija el plomo en el suelo de manera que se neutraliza su desplazamiento a las aguas subterráneas.
- 2) Reduce la biodisponibilidad de plomo, significa que si un niño ingiere el suelo contaminado con plomo y procesado con fósforo, el plomo pasará por el cuerpo del niño sin ser absorbido por su cuerpo⁽³²⁾.

2.1.2.- OCUPACIONAL:

Los individuos que están expuestos ocupacionalmente, también son además responsables de la contaminación del ambiente general, porque a través del plomo presente en sus ropas contaminan sus hogares, afectando principalmente a los niños. Es importante señalar que el plomo presente en el aire se deposita en los suelos. El plomo

está presente en diversas actividades industriales ya sea como componente de la materia prima, como en el caso de las industrias de baterías, antidetonantes para gasolina, municiones y pigmentos para pintura o como parte de los subproductos del proceso, como es el caso de la imprenta y de soldadura ⁽³²⁾.

2.1.2.1.- MINERIA

La exposición no solo es importante para los mineros que trabajan en las mismas instalaciones, sino para otros trabajadores, principalmente los del proceso de fundición, el cual es el que presenta el mayor riesgo, ya que durante la fundición el plomo calentado desprende vapores con partícula de tamaño respirable ($<5 \mu\text{m}$) a concentraciones altas, tales como $200 \mu\text{m}/\text{m}^3$ a $300 \mu\text{m}/\text{m}^3$ de aire ⁽³³⁾.

2.1.2.2.- AGRICULTURA

La contaminación por partículas en suspensión atmosférica también puede alcanzar el suelo por deposición seca o por arrastre.

El plomo depositado en el suelo es almacenado en las raíces de las plantas debido a su poca movilidad; la contaminación atmosférica, en cambio, daña las partes aéreas de las plantas. Se necesitan concentraciones relativamente altas para producir toxicidad, por ejemplo valores como $1000\text{mg}/\text{dm}^3$ de plomo en el suelo. Solo una pequeña parte del plomo es absorbida por la

planta y el resto se deposita en la superficie de la misma, lo que constituye una amenaza para los herbívoros ⁽³⁴⁾.

2.1.2.3.- OTROS

Los individuos que están expuestos ocupacionalmente, también son además responsables de la contaminación del ambiente general, porque a través del plomo presente en sus ropas contaminan sus hogares, afectando principalmente a los niños.

Es importante señalar que el plomo presente en el aire se deposita en los suelos.

El plomo está presente en diversas actividades industriales ya sea como componente de la materia prima, como en el caso de las industrias de baterías, antidetonantes para gasolina, municiones y pigmentos para pintura o como parte de los subproductos del proceso, como es el caso de la imprenta y de soldadura ⁽³²⁾.

2.2.- TOXICOCINÉTICA DEL PLOMO

2.2.1.- ABSORCIÓN

El plomo puede ingresar en el organismo por vía respiratoria, digestiva o cutánea. La absorción por vía respiratoria depende del tamaño de las partículas, la ventilación pulmonar y la solubilidad del compuesto. Por esta vía se inhalan vapores, polvos y humos de polvo. Aquellas partículas inferiores a 1 μm penetran hasta el alveolo. Por vía digestiva sólo se absorbe un 10% del plomo ingerido, siendo eliminado el 90% restante por las heces. En el caso de los niños, dada la mayor

permeabilidad de mucosa intestinal, la absorción puede alcanzar hasta un 30%. También influye aquí la solubilidad del compuesto, y de forma especial e inversamente proporcional, la riqueza de calcio y potasio en la dieta. La vía cutánea suele ser exclusiva de los derivados orgánicos (naftenato, tetraetilato, etc.). También es importante destacar la mayor permeabilidad de la barrera hematoencefálica de los niños ⁽³⁵⁾.

2.2.2.- DISTRIBUCIÓN:

El plomo se distribuye en el organismo unido en un 95% a los hematíes. Existe además, una fracción ligada a proteína rica en azufre, nitrógeno y oxígeno, así como una fracción ligada a los tejidos, de gran importancia en la exposición laboral dado el carácter acumulativo del compuesto. De este modo, por ejemplo, se acumula en el hígado, el riñón, el sistema nervioso y, sobre todo, en el tejido óseo, en forma de trifosfato en la epífisis de los huesos largos, zonas donde el metabolismo del calcio es más activo, dada la afinidad del plomo por el calcio. Determinadas situaciones que pueden provocar una movilización del calcio óseo (acidosis, neoplasias, alteraciones metabólicas, etc.) podrían conllevar la liberación a sangre del plomo almacenado.

Además, es capaz de atravesar la barrera placentaria y la barrera hematoencefálica en desarrollo, aspecto este último de enorme trascendencia en niños ⁽³⁵⁾.

2.2.3.- ELIMINACIÓN

El plomo se excreta fundamentalmente por vía renal (75%) y aquellas fracciones no absorbida se eliminan por las heces. En menor proporción intervienen las faneras (pelos y uñas), el sudor, la leche y/o la saliva⁽³⁵⁾.

2.3.- TOXICODINAMIA DEL PLOMO

Para poder comprender el problema que implica la intoxicación por plomo en adultos,

es necesario tomar en cuenta los factores específicos que predisponen o que agravan los efectos del plomo.

A continuación se enumeran algunos:

- La concentración y el tipo de plomo (plomo inorgánico vs. alquilados de plomo) de la fuente de exposición.
- El tiempo de exposición.
- La vía de entrada al organismo del adulto.
- La condición nutricional y el estado de salud previo del sujeto.
- La edad del sujeto expuesto.
- Los hábitos y comportamientos del sujeto con respecto a su salud (por ejemplo, fumar en un ambiente contaminado).
- La raza y el sexo a los que pertenece el sujeto expuesto.

La combinación de los anteriores factores incidirá en la susceptibilidad del individuo expuesto; así como en la naturaleza y el alcance de su padecimiento³⁶.

El saturnismo es un cuadro muy proteiforme que puede pasar desapercibido durante años. Se distingue un cuadro agudo, muy raro, y un cuadro crónico, con una fase subclínica y una fase clínica. A su vez la presentación difiere algo entre el adulto y el niño ⁽³⁷⁾.

La ingesta aguda es excepcional pero posible ("pica", masticar perdigones, ingesta accidental o suicida de minio, etc.); produce vómitos, dolores abdominales y diarrea, pudiendo objetivarse hemólisis, citólisis hepática y afectación tubular renal. En casos graves puede producirse depresión del SNC y el paciente puede fallecer en pocos días.

En la intoxicación crónica hay una fase subclínica o de impregnación, en la cual el paciente se encuentra asintomático, pero puede tener alteraciones biológicas si los niveles de plomo en sangre están entre 35 µg/dL y 60 µg/dL. Esta forma es especialmente importante en niños, ya que sus tejidos, en fase de crecimiento, se van impregnando de plomo, y a nivel del Sistema Nervioso Central se van produciendo déficit (retraso mental, alteraciones del lenguaje, del comportamiento, etc.).

Estas secuelas son definitivas. En esta fase se puede observar el depósito gris azulado de sulfuro de plomo en el borde libre de las encías, que se conoce como ribete de Burton.

La fase clínica se caracteriza inicialmente por astenia, debilidad, mialgias e irritabilidad. En sangre hay niveles de plomo de 70-90 µg/dL y suele aparecer anemia normocítica y ligeramente hipocroma, acompañada de sideroblastos, reticulocitosis e hipersideremia.

Como signos digestivos el paciente tiene anorexia, estreñimiento y en casos graves, dolores abdominales (cólico saturnino) y vómitos alimentarios. Es relativamente frecuente el hallazgo de alteraciones biológicas hepáticas.

Desde el punto de vista neurológico hay alteraciones en el Sistema Nervioso Central, en forma de irritabilidad, alteraciones de la memoria, dificultades de concentración y cefaleas, que puede evolucionar con signos de hipertensión endocraneal, convulsiones, coma, eventualmente la muerte. También hay alteraciones de los nervios periféricos, en forma polineuropatías de predominio motor y en extremidades superiores de las cuales la más significativa es la parálisis radial.

Las lesiones renales no son específicas. Hay atrofia y pérdida de túbulos que se asocia a fibrosis intersticial. Los glomérulos pueden mostrar esclerosis focal o global. Cuando las lesiones renales se hallan muy evolucionadas puede aparecer insuficiencia renal, hipertensión arterial, hiperuricemia y gota.

La forma clínica del niño tiene una preponderancia de síntomas neurológicos, junto con anemia y dolor abdominal. En la forma del adulto predominan, junto a los dolores abdominales y la anemia, la afectación renal y la polineuropatía periférica.

Los derivados orgánicos tienen afinidad prioritaria por el Sistema Nervioso Central y causan cefalea, insomnio, síndrome maníaco, agitación y en casos graves, convulsiones, coma y muerte. Producen, además, una dermatitis irritativa y, si la exposición ha sido intensa y prolongada, afectación hepática, renal y muscular. No suele haber anemia ni alteraciones en las porfirinas, y los niveles de plomo en sangre y orina son relativamente bajos⁽³⁸⁾.

2.3.1.- MECANISMO DE ACCIÓN

El mecanismo de intoxicación del plomo está dado por tres modalidades:

- a) Compite con los metales esenciales, especialmente con el calcio y con el zinc.
- b) Mediante su afinidad por los grupos sulfidrilos de las personas, afectando sistemas enzimáticos.
- c) Altera el transporte de iones esenciales.

El mecanismo de los efectos del plomo en el Sistema Nervioso Central no está muy claro pero involucra interacciones del plomo como sistemas de transporte intracelulares mediadores de calcio y con la neurotransmisión. (Goyer, 1993) ⁽³⁶⁾.

El plomo se combina con grupos sulfhidrilo de las proteínas. Interfiere también con el transporte de iones de Calcio, con la síntesis y liberación de algunos neurotransmisores y con la activación de la proteincinasa C.

En concentración alta el plomo altera la estructura terciaria de las proteínas celulares, las desnaturaliza y ocasiona inflamación y muerte celular.

Una de las acciones tóxicas más importantes del plomo es la inhibición de la síntesis del grupo hem de la hemoglobina y de los citocromos. El plomo inhibe la enzima Ácido Deltaminolevulínico deshidrasa (ALAD), que debe convertir el Ácido deltaminolevulínico (ALA) en porfobilinógeno; también inhibe la ferroquelatasa, que cataliza la

inserción del hierro de la ferritina en el anillo de la protoporfirina, para formar el Hem.

Consecuencia de todo ello se produce una disminución de la producción de hematíes y un acortamiento de su vida media. El nivel de impregnación medular de plomo puede, medirse a través de la excreción urinaria de ALA y coproporfirina III.

El plomo tiene una acción constrictora sobre la fibra muscular lisa (provoca espasmos intestinales). También puede provocar lesiones encefálicas difusas, efectos desmielinizantes sobre los nervios periféricos, afectación renal, produce hepatopatía, miocarditis, disminución de la espermatogénesis y trastornos menstruales, entre otros⁽³⁹⁾.

2.4 EFECTOS DE LA SALUD

Aunque el plomo es uno de los metales de utilización más antiguo, el mecanismo de su acción tóxica es todavía imperfectamente conocido y sigue siendo objeto de numerosos estudios. Sin embargo, se conocen las acciones más importantes:

2.4.1 EFECTOS SOBRE EL TEJIDO HEMATOPOYÉTICO

Los efectos de la acción del plomo en este tejido, aunque a nivel clínico no sean necesariamente los más importantes, han permitido proponer métodos de tamizaje precoz de la impregnación saturnina. La concentración de plomo en la médula ósea es muy importante, lo que

explicaría la alteración de la maduración de los glóbulos rojos que este metal produce:

a. Inhibiendo la síntesis del Hem en los eritroblastos:

El plomo bloquea varias enzimas necesarias para la síntesis del grupo Hem de la hemoglobina: Delta- Ácido deltaminolevulínico-deshidratasa (δ -ALA), coproporfinógeno III, decarboxilasa y ferroquelatasa. Estos efectos dependen de la dosis de absorción, siendo la más temprana la inhibición del Delta- Ácido deltaminolevulínico-deshidratasa (δ -ALA). Por otro lado, la actividad de la enzima Ácido deltaminolevulínico-sintetasa será estimulada por un mecanismo «feed back» como consecuencia del déficit de Hem, produciéndose también un aumento del Ácido deltaminolevulínico (ALA). Las consecuencias biológicas de esta acción de inhibición son:

- Aumento de la tasa de Ácido deltaminolevulínico (ALA) en sangre y en orina.
- Aumento de la concentración de coproporfinógeno III en los hematíes y de coproporfirina III en orina.
- Aumento de la tasa de protoporfirina IX en los hematíes.
- Aumento de la tasa de hierro sérico.

b. Alteración morfológica de los precursores de los glóbulos rojos:

En una punción esternal pueden ser observados megaloblastos, eritroblastos poliploides y punteado basófilo en los eritroblastos. La

acción inhibitoria del plomo sobre la enzima pirimidin-5-nucleotidasa es responsable de la reducción-degradación del ARN en los reticulocitos en vías de maduración y de la persistencia de las granulaciones basófilas ⁽⁴⁰⁾.

2.4.2 Efectos sobre los glóbulos rojos circulantes

La fragilidad mecánica de los glóbulos rojos parece aumentar, aunque este factor no es suficiente para explicar la anemia. La vida media de los glóbulos rojos disminuye ligeramente. Este hecho permite clasificar la anemia saturnina entre las anemias hemolíticas ⁽²⁹⁾.

2.4.3 Efectos sobre el sistema nervioso

Son variados los efectos en la salud que la exposición continua al plomo provoca, afectando de desigual forma los diferentes sistemas del organismo; sin embargo, los efectos neurológicos y neurocomportamentales son los más nefastos y vitales, motivo por el cual profundizaremos de manera importante en los efectos sobre este sistema. El plomo es un neurotóxico periférico y central. Interfiere con la liberación de la acetilcolina o bien con la reabsorción de colina y la síntesis consecuente de acetilcolina. La adenil-ciclasa del Sistema Nervioso Central es inhibida por el plomo. Con niveles de Plomo en sangre inferiores a 60 µg/ 100 ml puede existir ya un enlentecimiento de la velocidad de conducción del impulso nervioso. Algunos autores sugieren el uso de estudios electromiográficos en la evaluación de la exposición crónica. Los efectos sobre el sistema nervioso central han

sido descritos de manera diferente: desde no evidentes, hasta limitados a una reducción de los rendimientos globales, o a alteraciones de las funciones psíquicas más complejas ⁽²⁹⁾.

2.4.4 Efectos a nivel renal

Se distinguen tres fases en la respuesta renal a una exposición prolongada al plomo:

- Primera fase (duración inferior a un año): Caracterizada por la presencia de inclusiones intranucleares del complejo plomo-proteína en las células tubulares, excreción elevada de plomo; no hay todavía perturbación de la función renal.
- Segunda fase: Tras algunos años de exposición las células tubulares han perdido la capacidad de formar inclusiones intranucleares. Los riñones excretan menos plomo y presentan un cierto grado de fibrosis intersticial. La función renal comienza a alterarse.
- Tercera fase: Se produce una nefritis crónica. La lesión es principalmente tubular si bien puede afectar también a nivel glomerular. En una revisión de estudios sobre neuropatía plúmbica se aportan datos sobre la utilidad de la N-acetil- β -D glucosaminidasa urinaria (NAG) como marcador precoz de daño renal, aunque las relaciones de los niveles de plomo en sangre y N-acetil- β -D glucosaminidasa urinaria sean poco consistentes. La posibilidad de daño renal tardío podrá darse incluso en condiciones de exposición moderada al plomo ⁽²⁹⁾.

2.4.5 Efectos sobre la reproducción

Según datos de la Organización Internacional del Trabajo (OIT), el plomo puede ser transmitido de la madre al feto por transferencia placentaria estando expuesto a casi la misma concentración de plomo que la madre. A este nivel se ha descrito un aumento de abortos espontáneos, así como el aumento de la tasa de morbi-mortalidad en recién nacidos. En el hombre ha sido observada hipoespermia como efecto del plomo. También la exposición paterna está asociada con la aparición de abortos⁽²⁹⁾.

2.4.6 Efectos sobre el sistema cardiovascular

Ha sido descrito el efecto favorecedor del plomo en el desarrollo de afecciones cardiovasculares: hipertensión y aumento de riesgo coronario, entre otros. Un aspecto interesante constatado en los últimos estudios es la relación causal entre bajos niveles de exposición e hipertensión arterial. También se ha encontrado mayor riesgo de mortalidad por enfermedades cardiovasculares en trabajadores expuestos a plomo. Las alteraciones cardíacas pueden producirse por tres mecanismos: Hipertensión arterial por afectación renal primaria, aumento de las resistencias periféricas por alteración de la pared de los vasos sanguíneos o por infiltración celular en el tejido específico de conducción⁽²⁹⁾.

2.4.7 Efectos carcinogénicos

Se ha demostrado repetidamente que la exposición al plomo produce cáncer en animales de laboratorio (Categoría A3 American Conference of Government Industrial Hygienists, ACGIH 1996). Estudios epidemiológicos han encontrado un aumento significativo para varios tipos de cáncer (estómago, pulmón y vejiga). Por ello, queda abierta todavía la cuestión de una eventual acción mutágena y cancerígena del plomo⁽²⁹⁾.

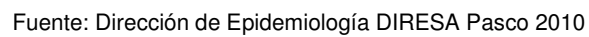
3. ZONA DE SAN JUAN PAMPA, DISTRITO DE YANACANCHA - PASCO

3.1 UBICACIÓN GEOGRAFICA:

3.1.1 DIVISIÓN POLÍTICA:

Políticamente el departamento de Pasco se divide en 03 provincias:

Pasco, Daniel Carrión, Oxapampa y 28 distritos, Chaupimarca, Yanacancha, Yarusyacan, Tinyahuarco, Huayllay, Vicco, Ninacaca, Huachón, Simón Bolívar, Paucartambo, Huariaca, Pallanchacra, Ticlacayan, Yanahuanca, San Pedro de Pillao, Paucar, Santa Ana de Tusi, Tapuc, Vilcabamba, Chacayan, Goyllarisquizca; con características climatológicas, geográficas, epidemiológicas y culturales diferenciadas, dado que se cuenta con zonas de selva alta y baja, sierra y ceja de selva, áreas que constituyen los valles interandinos.

DIRESA – Pasco 2010

3.1.2 DIVISIÓN GEOGRÁFICA

La Región Pasco, se encuentra ubicada en la parte central del territorio nacional, al este de la Cordillera Occidental abarcando zonas andinas y de selva amazónica que comprende los sectores de la Cuenca Alta y Media de los ríos Pichis y Palcazú.

Geográficamente, la Región, se localiza en los puntos extremos de las coordenadas geográficas siguientes:

- Latitud Sur de 09°36'23" a 10°28'56"
- Longitud Oeste de 74°36'32" a 76°43'18".

Presenta los siguientes límites:

- Norte: Región Huánuco
- Este: Región Ucayali
- Sur: Región Junín
- Oeste: Región Lima

El área de estudio está localizado en el casco urbano de la Ciudad de Cerro de Pasco que se ubica en la provincia y departamento de Pasco, a una altitud de 4380 msnm, a 315 Km. de la Ciudad de Lima, geográficamente se localiza en las estribaciones occidentales de la Cordillera Central, de la Sierra Central del Perú.

Desde el punto de vista climatológico se diferencian dos estaciones marcadas, la primera corresponde a la época de lluvia o avenidas y la segunda, época de estiaje o sequía.

A) Estaciones

- ✓ Época lluviosa (Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo y Abril) predominando las lluvias y nieve.
- ✓ Época seca (resto del año). Presión barométrica es 451,5 mmHg.

La climatología en Cerro de Pasco está definida por los siguientes parámetros:

La presión barométrica de Cerro de Pasco es de 451,57 mm Hg.

B) Precipitación pluvial (*)

- ✓ Mínima: 32,0 mm / mes \cong 3.2 L / m² / mes
- ✓ Promedio: 995 mm / año \cong 99.5 L / m² / año
- ✓ Máxima: 234,8 mm / mes \cong 23.48 L / m² / mes

(*)Se mide en milímetros, que sería el espesor de la lámina de agua que se formaría, a causa de la precipitación, sobre una superficie plana e impermeable. Fuente: SENAMHI, 2015

C) Humedad Relativa

- ✓ Mínima: 18.23%
- ✓ Promedio: 72.11%
- ✓ Máxima: 96.65%

D) Temperatura Ambiental

- ✓ Mínima: -4.87°C
- ✓ Promedio: 4.93°C
- ✓ Máxima: 15.18°C

E) Evaporación

La evaporación natural es un proceso de intercambio de energía en el cual la radiación solar es el factor más importante. La cantidad anual de energía solar que recibe un área es muy regular y esto es motivo de que la evaporación no muestre variaciones muy irregulares.

Estacional: Los mayores valores se presentan en los meses de diciembre a marzo, y lo mínimo entre Junio y Septiembre.

El promedio es de 1 100 mm /año.

F) Vientos

La velocidad promedio de los vientos es de 5 Km/h con dirección Sur- Norte.

E) La precipitación

La precipitación en la Cuenca del Río San Juan se origina de masas de aire de tipo tropical con alto contenido de humedad proveniente de la cuenca Amazónica las cuales son elevadas por los vientos del Noreste sobre la Cordillera de los Andes traspasando el macizo andino y ocasionando la pluviosidad en la cuenca de San Juan.

Las masas son de características inestables acentuándose las condiciones de inestabilidad durante el verano austral como resultado del desplazamiento hacia el sur de la zona de convergencia intertropical.

El régimen de las precipitaciones es irregular registrándose los valores más altos de Octubre a Marzo, originando el denominado

período estacional de lluvias coincidente con el período de avenidas o creciente de los ríos.

Por otro lado, los mínimos valores ocurren en los meses de Junio y Julio debido a las masas de aire superior que tienen su origen en las capas altas de la atmósfera del Altiplano y en los valles interandinos. Estas masas son frías, secas y estables y dan origen a un período de cielos despejados.

La altitud promedio de esta zona de la sierra por encima de los 4000 m. s. n. m. se caracteriza también por la ocurrencia de precipitaciones en forma de nieve durante el período estacional de lluvias

(Diresa-Región Pasco 2012).

3.2 SOCIODEMOGRÁFICOS Y SOCIOECONÓMICO

La Región Pasco tiene una población de 284 522. La Provincia de Pasco cuenta con una población total de 155 336 habitantes, representando el 54.59% de la población total de la Región Pasco, la proporción en zona urbana es de 90.7%, y rural es de 9.3%. Se cuenta con 41 409 mujeres en edad fértil con una proporción de 54.6 % frente al total de las mujeres en edad fértil de la Región.

La región de Pasco indica una concentración de Población de 11.2 habitantes por Km², esto de acuerdo a la población informada por el INEI ubicándonos por debajo de la cifra nacional cuya densidad para el año 2008 es de 21.7 habitante por km².

Los distritos más densos son Chaupimarca con 4521 habitante por Km² y Yanacancha con 194 habitante por km²; siendo los de menor densidad poblacional los distritos de Puerto Bermúdez con 2 habitante por Km² y Palcazu con 4 habitante por Km².

La tasa de fecundidad total es de 4 hijos por mujer en edad fértil, siendo más alto que el indicador Regional de 4.9 hijos por mujer en edad fértil, y por consiguiente a nivel nacional (2.4 hijos).

La tasa de Natalidad es de 11.9 por mil habitantes, promedio de la Región Pasco, la esperanza de Vida al Nacer es de 69.7 es un indicador que resume el mejor nivel de vida de la población, en el tiempo se evidencia que la expansión de los servicios están enmarcadas a favorecer y mejorar la salud de la población.

Otros indicadores como son la tasa bruta de mortalidad para el año 2006 fue de 3.0 por 1000 habitantes, y la tasa de Mortalidad Infantil de 18.1 por 1000 nacidos vivos, ambas tasas si comparamos con los indicadores Regionales viene disminuyendo ostensiblemente, así mismo frente a los distritos de: Tinyahuarco, Vilcabamba y San Pedro de Pillao que para el año 2005 presentaron altas tasas de mortalidad: 1000, 90.9 y 76.9 por 1000 menores de 1 año respectivamente.

(Diresa-Región Pasco 2012).

3.3 FUENTES DE TRABAJO Y PRODUCTIVIDAD:

3.3.1 MINERIA:

La cercanía de la Compañía Minera VOLCAN S.A., hace que muchos de los pobladores de la Provincia Pasco, trabajen en esta Empresa

generando fuentes de ingreso para la comunidad. La minería es la actividad económica más importante de Pasco.

3.3.2 COMERCIO:

Esta actividad es una de las que más se desempeñan en la Provincia Pasco, la mayoría de las familias obtienen sus ingresos de los productos que traen de otras provincias. Es famosa la feria semanal de los días domingos y quincenal de los días miércoles.

La población generalmente es contratada por la empresa Volcán S.A. y MILPO. Los empleados públicos brindan atención a la comunidad, como en el caso de Ministerio de salud, Educación, Transportes, Poder judicial etc. El sector privado representa una importante fuente de empleo en la Provincia.

3.3.3 AGRICULTURA

La Población urbana de Pasco se dedica poco a esta actividad, ya que la mayoría de la población se dedica a la minería.

3.3.4 PECUARIA

Está caracterizada por desarrollarse a nivel doméstico en pequeñas cantidades, los campos de pastoreo son comunes con la crianza de porcinos, ovinos y en menor cantidad aves y cuyes, etc.

II. PARTE EXPERIMENTAL

El presente trabajo de investigación es de tipo transversal, ya que los datos fueron recolectados en un tiempo determinado. Descriptivo, porque se midió las características de las variables en estudio (Concentraciones de plomo y cadmio). Finalmente comparativo, ya que se estableció diferencias entre las concentraciones de plomo y cadmio según el punto de muestreo elegido, siendo contrastados con los límites permisibles para cada metal en estudio.

A) POBLACIÓN DE ESTUDIO

El estudio se realizó en la zona de San Juan Pampa – Distrito de Yanacancha – Región Pasco. Por la ubicación geográfica de San Juan Pampa y los m.s.n.m. de cada zona se realizó una división imaginaria de la misma en tres zonas de estudio: zona alta (4,338 m.s.n.m. aprox.), zona media (4,318 m.s.n.m. aprox.), y zona baja (4,297 m.s.n.m. aprox.). (Ver anexo N° 1)

Una vez realizado la división y ubicación de las tres zonas motivo de estudio, se procedió a ubicar los tres puntos exactos donde se realizará la toma de muestra a partir de los grifos de cada domicilio.

Estos son:

- Zona alta: Jr. Carlos Mariátegui
- Zona media: Av. Daniel A. Carrión
- Zona baja: Av. Micaela Bastidas

B) RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE LA MUESTRA

La recolección se realizó en el mes de Setiembre del 2014, se recolectaron 20 muestras de agua para consumo humano en frascos de polietileno de alta densidad estériles (de primer uso), dotados de cierre hermético previamente rotulados, estabilizándose inmediatamente por la adición de HNO_3 concentrado hasta pH inferior a 2 conservándose posteriormente a 4°C se transportó al laboratorio de Centro de Información, control Toxicológico y apoyo a la gestión ambiental (CICOTOX) para el respectivo análisis de las muestras⁽⁴¹⁾.

En el transporte de las muestras se usaron cajas térmicas apropiadas (Coolers) cuidando que la temperatura se mantenga en 4°C.

Las muestras recolectadas para los análisis respectivos fueron entregados al laboratorio a las 24 horas de realizado el muestreo⁽⁴²⁾

Que consiste de la siguiente manera:

(Ver anexo 01)

- 6 muestras por duplicado pertenecientes a la zona alta.
- 7 muestras por duplicado pertenecientes a la zona media.
- 7 muestras por duplicado pertenecientes a la zona baja.

Tabla Nº 1: Requisitos para toma de muestras de aguas y su manipulación-determinaciones químicas
Fuente: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales
⁽¹⁾ V (A): Vidrio lavado con 1 + 1 HNO₃ concentrado
P (A): Plástico Lavado con 1 + 1 HNO₃ concentrado

Parámetro	Material del frasco ¹	Volumen requerido	Conservación/Preservación	Tiempo máximo para análisis
Metales en general	V(A) o P(A)	1 000 mL	Agregar HNO ₃ hasta pH<2	2 meses
Plomo	V(A) o P(A)	1 000 mL	Agregar HNO ₃ hasta pH<2 Refrigerar 4°C	2 meses
Cadmio	V(A) o P(A)	1 000 mL	Agregar HNO ₃ hasta pH<2 Refrigerar 4°C	2 meses

C) MÉTODO ANALÍTICO

Espectrofotometría de Absorción Atómica con Horno de Grafito

Laboratorio: CICOTOX – Facultad de Farmacia y Bioquímica – UNMSM

D) FUNDAMENTO DEL MÉTODO ANALÍTICO EMPLEADO

La técnica se basa en la medida de la radiación absorbida por los átomos libres en su estado fundamental. Para que esto ocurra la muestra pasa por un proceso de atomización electrotérmica utilizando una resistencia eléctrica. Estos átomos libres, formados a partir de un estado energético inferior a otro superior, absorben una radiación de energía de onda específica emitida por una lámpara que contiene un cátodo. La diferencia entre energía incidente y la transmitida se recoge en un detector, permitiendo realizar la determinación cuantitativa del elemento⁴³.

III. RESULTADOS

A) Análisis de Cadmio

Fecha de análisis: 15/09/2014

Análisis : Determinación de Cadmio en agua para consumo humano

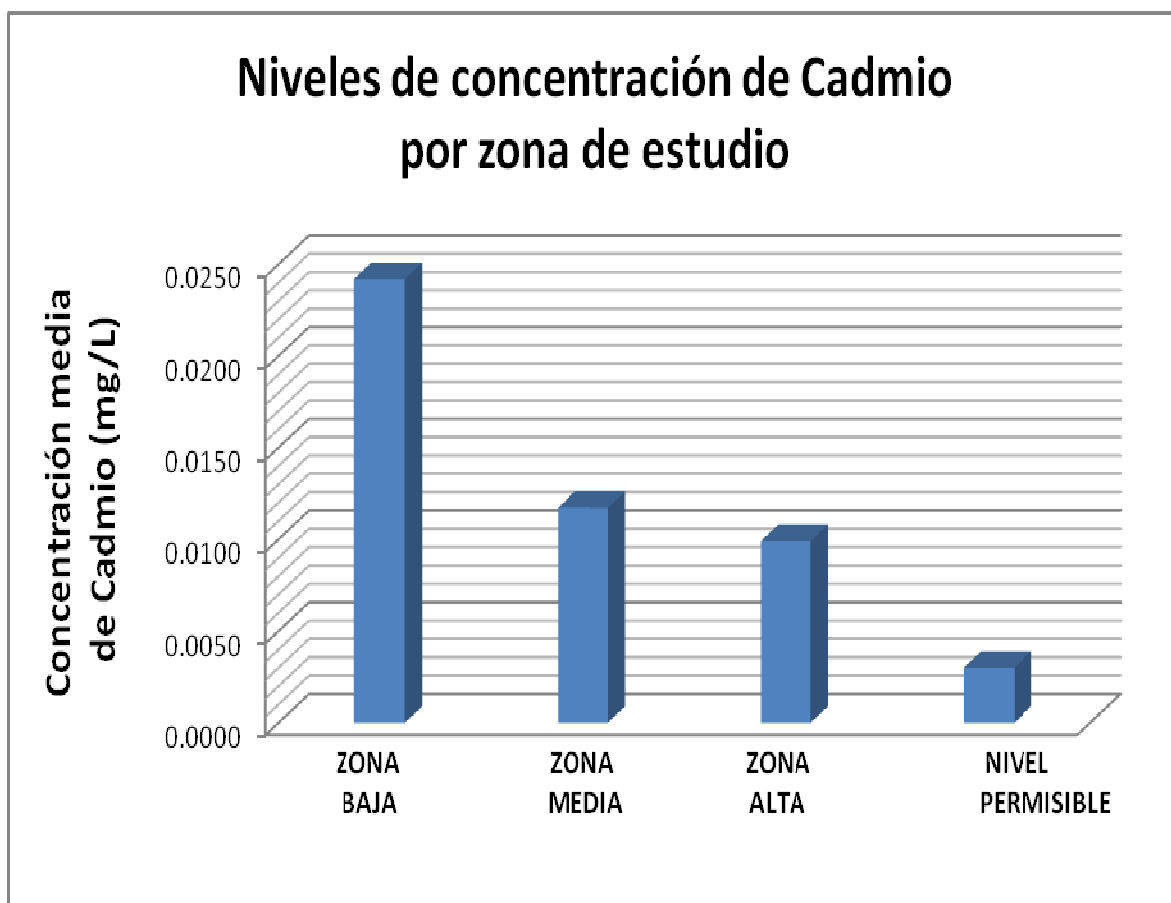
Método : Espectrofotometría por absorción atómica (Ver Anexo 2 y 3)

Tabla N° 2

*L.M.P.: Límite máximo permisible según Organización Mundial de la Salud (OMS)

CICOTOX N° de PROTOCOLO	CODIGO INTERNO	ZONA	HORA DE TOMA DE MUESTRA	CONC. OBTENIDA [] mg/L	L.M.P.* (Según OMS)
70342	1BCd	BAJA	7:15 H.	0.1076	0.003 mg/L
70344	2BCd	BAJA	7:30 H.	0.0444	0.003 mg/L
70346	3BCd	BAJA	7:45 H.	0.0086	0.003 mg/L
70348	4BCd	BAJA	8:00 H.	0.00364	0.003 mg/L
70350	5BCd	BAJA	8:15 H.	0.0016	0.003 mg/L
70352	6BCd	BAJA	8:30 H.	0.00132	0.003 mg/L
70354	7BCd	BAJA	8:45 H.	0.00216	0.003 mg/L
70356	1MCd	MEDIA	7:15 H.	0.02392	0.003 mg/L
70358	2MCd	MEDIA	7:30 H.	0.00864	0.003 mg/L
70360	3MCd	MEDIA	7:45 H.	0.00304	0.003 mg/L
70362	4MCd	MEDIA	8:00 H.	0.00264	0.003 mg/L
70364	5MCd	MEDIA	8:15 H.	0.02128	0.003 mg/L
70366	6MCd	MEDIA	8:30 H.	0.00492	0.003 mg/L
70368	7MCd	MEDIA	8:45 H.	0.01748	0.003 mg/L
70370	1ACd	ALTA	7:15 H.	0.00452	0.003 mg/L
70372	2ACd	ALTA	7:30 H.	0.00696	0.003 mg/L
70374	3ACd	ALTA	7:45 H.	0.00672	0.003 mg/L
70376	4ACd	ALTA	8:00 H.	0.01532	0.003 mg/L
70378	5ACd	ALTA	8:15 H.	0.01052	0.003 mg/L
70380	6ACd	ALTA	8:30 H.	0.01536	0.003 mg/L

Podemos observar que todos los valores superan los límites máximos permisibles según la Organización Mundial de la Salud. Asimismo podemos resaltar que en la muestra 6BCd que pertenece a la zona baja se obtuvo la concentración mínima de Cadmio: 0,00132 mg/L y en la muestra 1BCd que pertenece a la zona baja se obtuvo la concentración máxima de Cadmio: 0,1076 mg/L.



Estadígrafo N° 1: Niveles de concentración de Cadmio para zona de estudio

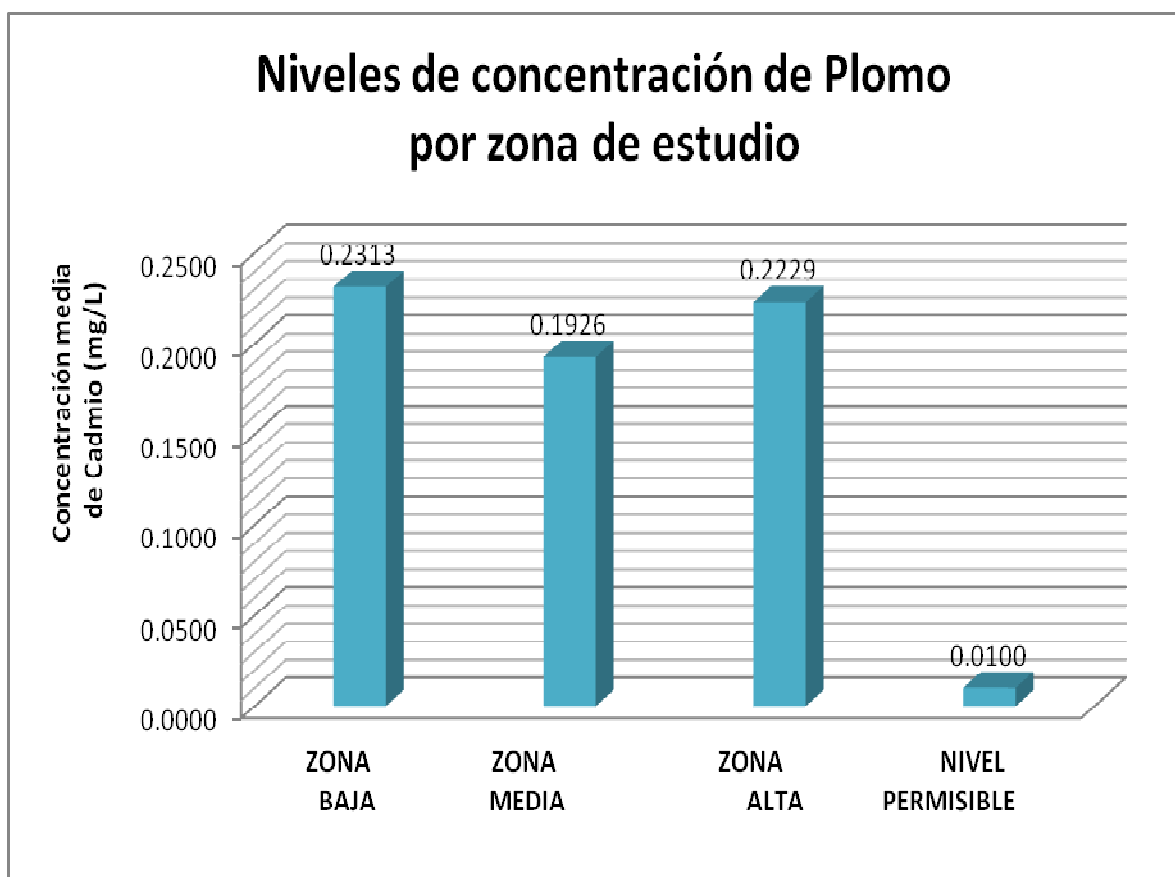
En la presente figura podemos apreciar que la concentración media de Cadmio en la zona baja (0,024 mg/L) es superior en comparación a la concentración media de Cadmio de la zona media (0,0117 mg/L) y a la concentración media de Cadmio de la zona alta (0,0099 mg/L). Cabe recalcar que en las tres zonas de estudio se evidencia que la concentración de Cadmio es superior a los límites permisibles por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

B) Análisis de Plomo**Fecha de análisis:** 15/09/2014**Análisis** : Determinación de Plomo en agua de consumo humano**Método** : Espectrofotometría por absorción atómica (Ver Anexo 4 y 5)

Tabla N° 3
***L.M.P.: Límite máximo permisible (Ver Anexo N° 5)**

CICOTOX N° de PROTOCOLO	CODIGO INTERNO	ZONA	HORA DE TOMA DE MUESTRA	CONC. OBTENIDA [] mg/L	L.M.P. (Según OMS)
70343	1BPd	BAJA	7:15 H.	0.2464	0.010 mg/L
70345	2BPd	BAJA	7:30 H.	0.1672	0.010 mg/L
70347	3BPd	BAJA	7:45 H.	0.0308	0.010 mg/L
70349	4BPd	BAJA	8:00 H.	0.3240	0.010 mg/L
70351	5BPd	BAJA	8:15 H.	0.1476	0.010 mg/L
70353	6BPd	BAJA	8:30 H.	0.5504	0.010 mg/L
70355	7BPd	BAJA	8:45 H.	0.1528	0.010 mg/L
70357	1MPd	MEDIA	7:15 H.	0.3084	0.010 mg/L
70359	2MPd	MEDIA	7:30 H.	0.2820	0.010 mg/L
70361	3MPd	MEDIA	7:45 H.	0.1208	0.010 mg/L
70363	4MPd	MEDIA	8:00 H.	0.2452	0.010 mg/L
70365	5MPd	MEDIA	8:15 H.	0.1328	0.010 mg/L
70367	6MPd	MEDIA	8:30 H.	0.2568	0.010 mg/L
70369	7MPd	MEDIA	8:45 H.	0.0020	0.010 mg/L
70371	1APd	ALTA	7:15 H.	0.4824	0.010 mg/L
70373	2APd	ALTA	7:30 H.	0.1812	0.010 mg/L
70375	3APd	ALTA	7:45 H.	0.1260	0.010 mg/L
70377	4APd	ALTA	8:00 H.	0.2236	0.010 mg/L
70379	5APd	ALTA	8:15 H.	0.2084	0.010 mg/L
70381	6APd	ALTA	8:30 H.	0.1156	0.010 mg/L

Podemos observar que todos los valores superan los límites máximos permisibles según la Organización Mundial de la Salud. Asimismo podemos resaltar que en la muestra 7MPd que pertenece a la zona media se obtuvo la concentración mínima de Plomo: 0,002 mg/L y en la muestra 6BPd que pertenece a la zona baja se obtuvo la concentración máxima de Plomo: 0,5504 mg/L.



Estadígrafo N° 2: Niveles de concentración de plomo por zona de estudio

Se puede apreciar que la concentración media de Plomo en la zona media (0,1925 mg/L) es inferior en comparación a la concentración media de Plomo de la zona baja (0,2313 mg/L) y a la concentración media de Plomo de la zona alta (0,2228 mg/L). Cabe recalcar que en las tres zonas de estudio se evidencia que la concentración de Cadmio es superior a los límites permisibles por la Organización Mundial de la Salud (OMS).

C) ANALISIS ESTADISTICO

Prueba de Normalidad - Cadmio

Ho: Los datos de cadmio tienen una distribución normal

H1: Los datos de cadmio no tienen una distribución normal

Nivel de significación: 0.01

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para muestra de Cadmio

		Concentración cadmio
N		20
Parámetros normales ^{a,b}	Media	0,0155320
	Desviación estándar	0,02401906
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0,277
	Positivo	0,268
	Negativo	-0,277
Estadístico de prueba		0,277
Sig. asintótica (bilateral)		0,000 ^c

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

Con $p < 0.01$ no se rechaza la H_0 , con un nivel de significación del 1%, desviación estándar: 0,02401906, se concluye que los datos de cadmio tienen una distribución normal. Por tanto la estadística a usar será una prueba paramétrica.

Prueba de Normalidad - Plomo

Prueba de Normalidad.

Ho: Los datos de plomo tienen una distribución normal

H1: Los datos de plomo no tienen una distribución normal

Nivel de significación: 0.01

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para muestra de Plomo

		Concentracion mg/L de Plomo
N		20
Parámetros normales ^{a,b}	Media	0,215220
	Desviación estándar	0,1332628
Máximas diferencias extremas	Absoluta	0,128
	Positivo	0,128
	Negativo	-0,127
Estadístico de prueba		0,128
Sig. asintótica (bilateral)		0,200 ^{c,d}

a. La distribución de prueba es normal.

b. Se calcula a partir de datos.

c. Corrección de significación de Lilliefors.

d. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.

Con $p < 0.01$ no se rechaza la H_0 , con un nivel de significación del 1%, desviación estándar: 0,1332628, se concluye que los datos de plomo tienen una distribución normal. Por tanto la estadística a usar será una prueba paramétrica.

IV. DISCUSIÓN

La problemática de la intoxicación por niveles de plomo y cadmio elevados en sangre, ha tomado relevante importancia en el ámbito nacional debido a los altos niveles de contaminación de industrias minera y metalúrgica, además de los pasivos ambientales como las que se tienen en la zona urbana de Yanacancha.

A partir de la Tabla N° 2, las concentraciones de Cadmio en las muestras de agua se determinaron de la siguiente manera: La concentración media de Cadmio en la zona baja (0,024 mg/L) es superior en comparación a la concentración media de Cadmio de la zona media (0,0117 mg/L) y a la concentración media de Cadmio de la zona alta (0,0099 mg/L) con una desviación estándar de 0,02401906.

De la misma manera de la Tabla N° 3, se obtiene lo siguiente: Las concentraciones de Plomo en las muestras de agua la concentración media de Plomo en la zona media (0,1925 mg/L) es inferior en comparación a la concentración media de Plomo de la zona baja (0,2313 mg/L) y a la concentración media de Plomo de la zona alta (0,2228 mg/L) con una desviación estándar de 0,1332628.

A partir de esto podemos corroborar que en las tres zonas de estudio se evidencia que las concentraciones de Cadmio y Plomo son superiores a los límites permisibles por la Organización Mundial de la Salud (OMS). Siendo estos límites permisibles: Para Cadmio: 0,003 mg/L; y para Plomo: 0,010 mg/L

Esto se debe a que no se cuenta con un horario establecido para la distribución del agua potable en la zona de San Juan Pampa. La continuidad de la liberación del agua dependerá mucho de la cantidad de agua acumulada en los reservorios a consecuencia del drenaje del río San Juan y producto de las lluvias.

Se determinó con nivel de significancia de $p < 0,01$ que no existen diferencias significativas en la concentración de Cadmio presente en los tres puntos de la zona de estudio: Baja, media, alta como se indica en las pruebas de normalidad para Cadmio.

Asimismo se determinó con nivel de significancia de $p < 0,01$ que no existen diferencias significativas en la concentración de Plomo presente en los tres puntos de la zona de estudio: Baja, media, alta como se indica en las pruebas de normalidad para Plomo.

Estos resultados nos conlleva a inferir lo siguiente, a medida que el agua transcurre por la red de distribución de agua de la Zona de San Juan Pampa los metales pesados se van distribuyendo en todos los grifos de cada hogar.

Por un factor de ubicación de cada zona las mayores concentraciones de Cadmio se van evidenciar en la zona media y baja en comparación a la zona alta. Esto se fundamenta en lo siguiente, la composición acida de las aguas puede movilizar depósitos minerales como el cadmio, coincidentemente con una gran acidificación accidental del agua como lo demuestra el estudio (estuario de Huelva de 1987). Con respecto al plomo se evidencia niveles altos en las zonas baja y alta en comparación de la zona media probablemente se deba al desprendimiento de las tuberías que contienen Plomo.

Podemos considerar esta información para determinar una causal de la presencia de plomo en sangre en los pobladores más vulnerables del Distrito de Yanacancha como así lo demuestran los trabajos realizados en el 2006, a cargo de la DIRESA PASCO. Estudio de Determinación de Plomo en sangre en el Distrito de Yanacancha.

Estos datos reafirman la presencia de Cadmio y Plomo en niveles superiores a lo permisible según OMS, además incumple con lo exigido por el Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano – Anexo III aprobado con D.S. Nº 031-2010-SA, sobrepasando los límites máximos permisibles de parámetros químicos inorgánicos y orgánicos (Cadmio: 0,003 mg/L; Plomo: 0,010 mg/L).

Estos resultados pueden ser a consecuencia de una posible sobreexposición a factores contaminantes como por ejemplo presencia del plomo y cadmio en los suelos, aire, o propio del desgaste de las tuberías de distribución de la red, que por cierto son de material de asbesto en su mayoría, entre otros.

Considero que estos resultados son un aporte muy importante para próximas investigaciones a ser elaboradas por futuros colegas o profesionales relacionados al tema ya que esto demuestra el incremento anual de casos de presencia de Cadmio en los pobladores de la Región Pasco, así como fue determinado en el libro “Evaluación de la Calidad de los Recursos Hídricos en la Provincia de Pasco y de la Salud en el Centro Poblado de Paragsha”, estudio realizado el 2009 por el Lic. Flaviano Bianchini, representante de la Universidad de Pisa de Italia, demuestra que para el caso de Cadmio el 52,9% de los adultos y el 4,2% de los niños sometidos tienen valores en la sangre superiores a lo permitido por la OMS. Por ello es de gran preocupación de los pobladores de San Juan Pampa el consumir agua potable conteniendo altas concentraciones de Plomo y Cadmio ya que se ve afectada la salud de cada uno de ellos.

V. CONCLUSIONES

1. De los resultados obtenidos a partir del agua potable para consumo humano de la zona de San Juan Pampa, las concentraciones de Cadmio: 0,0155 mg/L, y Plomo: 0,2152 mg/L, son superiores a los niveles permisibles según la Organización Mundial de la Salud OMS
2. La concentración media de cadmio en agua potable en la zona alta (0,1097 mg/L) es mayor en comparación a la zona media (0,0108 mg/L) y baja (0,024 mg/L) con una desviación estándar de 0,02401906, además no presenta diferencias significativas en las tres zonas de estudio. Los cuales superan los límites máximos permisibles según la Organización Mundial de la Salud
3. La concentración media de plomo en agua potable de la zona baja (0,2313 mg/L) es mayor en comparación a la zona media (0,1925 mg/L) y alta (0,2228 mg/L) con una desviación estándar de 0,1332628, además no presenta diferencias significativas en las tres zonas de estudio. Los cuales superan los límites máximos permisibles según la Organización Mundial de la Salud

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Es necesario realizar estudios que determinen la presencia de otros metales pesados en el agua potable de consumo humano. Con la finalidad de detectar la presencia de otros elementos tóxicos que estarían poniendo en riesgo la salud de la población de la zona de San Juan Pampa.
- ✓ Realizar trabajos similares en las demás zonas de la región Pasco para realizar un comparativo de la calidad de agua potable que está recibiendo la población en general de la región.
- ✓ Realizar programas de salud, fomentando la educación y el buen manejo del recurso hídrico. Asimismo, resaltar el nivel de contaminación del agua potable y las medidas de salubridad a tomar.
- ✓ Implementar un sistema de tratamiento hídrico al nivel de los estándares de calidad en agua potable en beneficio de la población más vulnerable, ancianos, madres gestantes y niños.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Biblioteca Virtual de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental – OPS.
Cadmio. Bvsde [en línea]. Washington, D.C. (U.S.A). 2012.
URL disponible en:
<http://www.bvsde.ops-oms.org/bvstox/fulltext/toxico/toxico-03a13.pdf>
[Consultado el 15 de setiembre del 2014]
2. Khanz A. **Química Clínica moderna**. Ed. Panamericana. 7 Ed. México 1986.
3. Madeddu R. **Estudio de la influencia del Cadmio sobre el medioambiente y el organismo humano: Perspectivas experimentales, epidemiológicas y morfofuncionales en el hombre y en los animales de experimentación**. Tesis para optar al grado de Doctor Europeo en Medicina y Cirugía. Universidad de Granada. Facultad de Medicina. España. 2005.
4. Repetto, M. **Toxicología Avanzada**. Edit. Panamericana Madrid-España, 2 Ed. 1995.
5. **PNUMA. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Análisis del flujo del comercio y revisión de prácticas de manejo ambientalmente racionales de productos conteniendo cadmio, plomo y mercurio en América Latina y el Caribe**. Lima-Perú. Diciembre 2010
6. Ramírez, A. **Toxicología del Cadmio: Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental y ocupacional con indicadores biológicos**.

Anales de la Facultad de Medicina: Universidad Nacional Mayor de San Marcos; Lima, 2002; 63 (1): 51-64.

7. Piotrowski J, Coleman D. **Environmental Hazards of Heavy Metals: Summary Evaluation of Pb, Cd and Hg**". Marc Report N° 20, MARC, Chelsea College, University of London. London 1990.
8. Kjellström T, Borg K, Lind B. **Cadmium in feces as an estimator of daily cadmium intake in Sweden. Environ Res.** 1978; 15(2):242-51.
9. Kim D, Kim K, Choi B, Youn P, Ryu D, Klaassen C, et al. **Regulation of metal transporters by dietary iron, and the relationship between body iron levels and cadmium uptake.** PubMed Arch Toxicol. 2007; 81(5): 327-34.
10. Park J, Cherrington N, Klaassen C. **Intestinal absorption of cadmium is associated with divalent metal transporter 1 in rats.** Toxicol Sci. 2002; 68(2):288-94.
11. Cherian M, Goyer R, Valberg L. **Gastrointestinal absorption and organ distribution of oral cadmium chloride and cadmium-metallothionein in mice.** J Toxicol Environ Health A. 1978;4(5-6):861-8.
12. ATSDR. **Toxicological profile for cadmium. US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry, Atlanta, GA.**
Disponibile en: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp5.pdf>
[Consultado 17 Agosto 2013].

13. Poreba R, Gac P, Poreba M, Antonowicz-Juchniewicz J, Andrzejak R. **Relation between occupational exposure to lead, cadmium, arsenic and concentration of cystatin C.** Toxicology. 2011;283(2):88-95.
14. Wester R, Maibach H, Sedik L, Melendres J, DiZio S, Wade M. **"In vitro" percutaneous absorption of cadmium from water and soil into human skin.** Fundam Appl Toxicol. 1992;19(1):1-5.
15. Thirumoorthy N, Sunder A, Kumar K, Kumar M, Ganesh G, Chatterjee M. **A review of metallothionein isoforms and their role in pathophysiology.** World J Surg Oncol. 2011; 9:54-60.
16. Nordberg G. **Historical perspectives on cadmium toxicology.** Toxicology and Applied Pharmacology. 2009; 238(3):192-200.
17. Nordberg M. **Metallothioneins: historical review and state of knowledge.** Talanta. 1998;46(2):243-54.
18. Waalkes M, Wahba Z, Rodriguez R. **Clinical Environmental Health and Toxic Exposures.** 2 Ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010. Capítulo 74, Cadmium; p.889-97.
19. Guallar E, Silbergeld E, Navas-Acien A, Malhotra S, Astor B, Sharrett A, et al. **Confounding of the relation between homocysteine and peripheral arterial disease by lead, cadmium, and renal function.** Am J Epidemiol. 2006;163(8):700-8.

20. Navas-Acien A, Selvin E, Sharrett A, Calderon-Aranda E, Silbergeld E, Guallar E. **Lead, cadmium, smoking, and increased risk of peripheral arterial disease. Circulation.** 2004;109(25):3196-201.
21. Peters J, Perlstein T, Perry M, McNeely E, Weuve J. **Cadmium exposure in association with history of stroke and heart failure.** Environ Res. 2010;110(2):199-206.
22. Tellez-Plaza M, Navas-Acien A, Crainiceanu C, Guallar E. **Cadmium exposure and hypertension in the 1999-2004 National Health and Nutrition Examination Survey (NHANES).** Environ Health Perspect. 2008;116(1):51-6.
23. Vahter M, Berglund M, Akesson A. **Toxic metals and the menopause. Menopause Int.** 2004;10:60-4.
24. Akesson A, Lundh T, Vahter M, Bjellerup P, Lidfeldt J, Nerbrand C, et al. **Tubular and glomerular kidney effects in swedish women with low environmental cadmium exposure.** Environ Health Perspect. 2005;113(11):1627-31.
25. Goyer R. Toxic effects of metals. In: Doull J, Klaassen CD, Amdur MO, editors. Casarett and Doull's **Toxicology: the Basic Science of Poisons.** New York: Mac Millan; 1991. p. 634-38.
26. Friberg L, Elinder C, Kjellström T, Nordberg G. **Cadmium and health: A toxicological and epidemiological appraisal.** Cleveland: CRC Press; 1986.

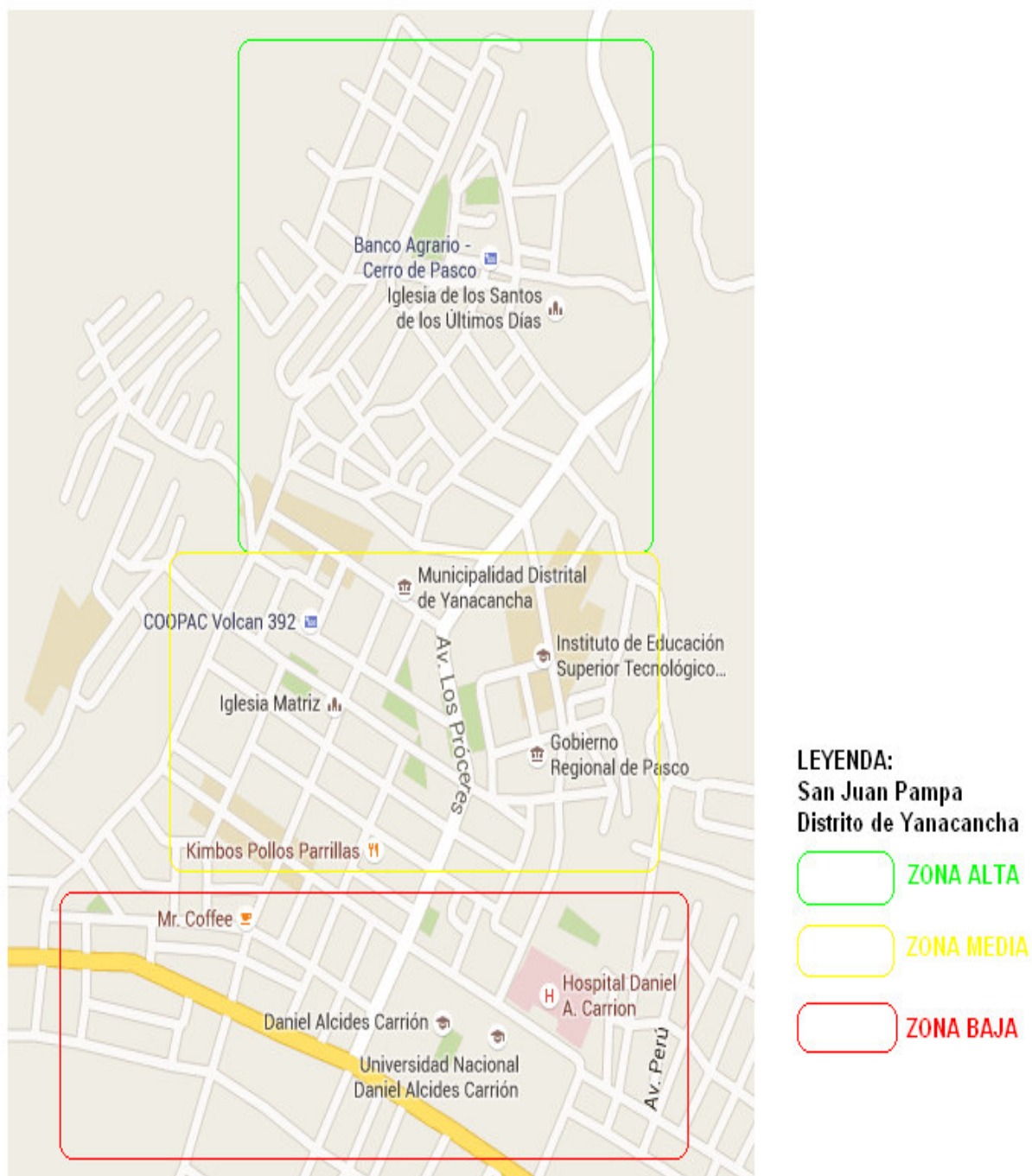
27. Takiguchi M, Yoshihara S. **New aspects of cadmium as endocrine disruptor.** Environ Sci. 2006;13(2):107-16.
28. Ali I, Penttinen-Damdimopoulou D, Mäkelä S, Berglund M, Stenius U, Akesson A, et al. **Estrogen-like effects of cadmium in vivo do not appear to be mediated via the classical estrogen receptor transcriptional pathway.** Environ Health Perspect. 2010;118 (10):1389-94.
29. Gonzales D. Rojas W. **Relación entre la exposición crónica ocupacional al plomo y efectos neurocomportamentales revisión documental.** Pontificia Universidad Javeriana Facultad de Enfermería-Facultad de Medicina. Bogotá D.C - Colombia, 2008
30. Mezquía, A; Aguilar, J.; Cumbá, C; González S. Yamilé; Sardiñas, O.; Acosta Quintana, Leanne Téc., **INSTITUTO NACIONAL DE HIGIENE, EPIDEMIOLOGIA Y MICROBIOLOGIA. (2004): Niveles de Plomo en Sangre y Aprendizaje en Niños de un Consejo de Centro Habana-Cuba. 2002- 2004.**
31. Cirarda F. (1998). **Niveles de plomo en el agua de consumo del Gran Bilbao. ¿Es el plomo un problema de Salud Pública en España?.** MAPFRE, Madrid, pp 132-141.
32. Nolasco, G. **Determinación de la concentración de plomo en suelos de lima metropolitana y su repercusión en la contaminación ambiental.** Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima-Perú. 2001.

33. Corey G, Galvao L. **Plomo. Serie Vigilancia 8.** Metepec. OPS/OMS: 1989.
53 – 56
34. Armas C. **Tecnología Ambiental.** Trujillo. CONCYTEC; 2001
35. Marquez C. **Biomonitorización de Cadmio, Cromo, Manganeso, Níquel y Plomo en muestra de sangre total, orina, vello axilar y saliva en una población laboral expuesta a metales pesados.** Memoria presentada para optar al grado de Doctora en Medicina. Facultad de Medicina. Universidad de Granada. Granada-España. Setiembre 2012.
36. Gisbert J. **“Medicina Legal y Toxicología”** Barcelona. Ed. Masson S.A. 5 Ed. 1998.
37. O.M.S. **Detección precoz de enfermedades ocupacionales.** Ginebra 1989.
38. Mezzaroba, L. **Determinacao do chumbo no sangue for EAA em individuos que operan na distribucao o gasoina en Santa-Maria-Rev. Brasileira de Salud Ocupacional 1983. VII (42)**
39. Veliz A. **Determinación de plomo en la sangre de sujetos expuestos y no expuestos ocupacionalmente a este elemento.** Trab. Apt. Prof. F.F.B.; U.N.M.S.M. Lima 1961.
40. López y cols. **Anemia secundaria a intoxicación por plomo.** Rev Clin Esp 2001; 201:390-393.

41. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** 22 th edition, section 3113 pag 3-25. Andrew D. Eaton, Lenore S. Clesceri, Arnold E. Greenberg. American Public Health Association. Maryland, U.S.A. December 2013
42. **Protocolo del monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales,** MINISTERIO DE SALUD – DIGESA-2007
43. Bender G. **Métodos Instrumentales de análisis en química clínica.** Zaragoza, Editorial Acribia S.A. 1992; Volumen 1: 115-27.

ANEXOS

ANEXO N° 1



ANEXO N° 2

LECTURA DE MUESTRAS PARA DETERMINAR CADMIO

PARÁMETROS ESPECTROMÉTRICOS

Longitud de onda: 228.8 nm
Tipo señal: Tránsito
Tiempo Medida: 3.0 seg.
Medir Pico desde: 0.00
Modo de medida: Absorbancia
Rendija: 1.0 nm
Alta resolución: Encendido
Tipo de tránsito: Altura
Corriente de lámpara: 75 %

PARÁMETROS DE HORNO

Tipo de tubo: Recubierto
Temperatura de inyección: 50 °C

PROGRAMA HORNO (153.0 seg)

FASE	TEMP. (°C)	TIEMPO (Seg.)	RAMPA (°C/seg.)	Gas Tipo	Gas Flujo	Comandos
1	110	40.0	10	2	0.1 L/min	
2	450	35.0	20	2	0.1 L/min	
3	560	20.0	5	2	0.1 L/min	
4	1630	3.0	0	2	APAGADO	LSTC
5	2450	5.0	0	2	0.1 L/min	TC
6	20	5.0	0	2	0.1 L/min	

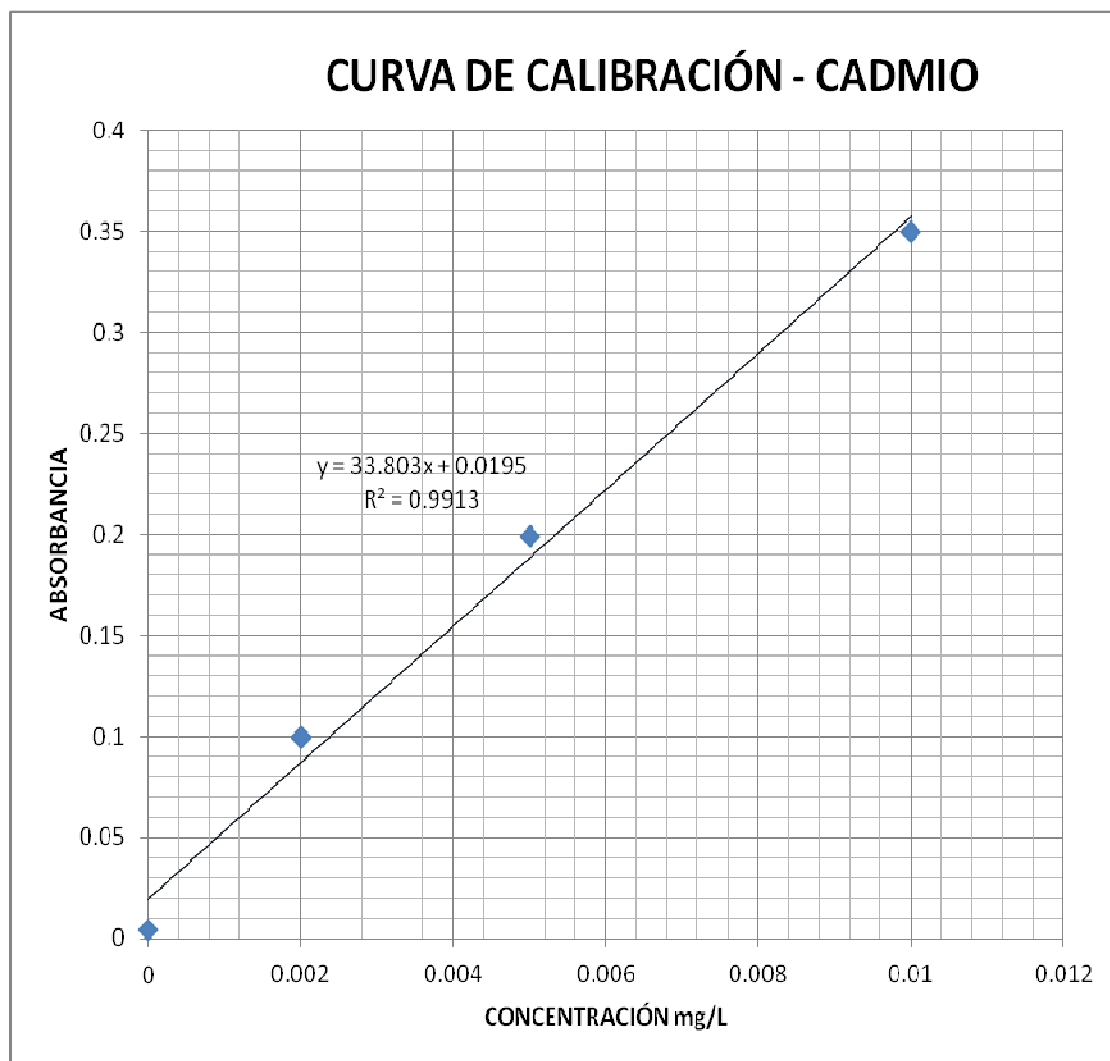
CURVA DE CALIBRACIÓN

Datos para hallar la curva de calibración del Cadmio

CONCENTRACIÓN (mg/L)	ABSORBANCIA
0.000	0.0041
0.002	0.0999
0.005	0.1989
0.01	0.3498

Ecuación: $ABS = 0.0338 (Conc) + 0.0195$
Coeficiente de regresión: 0.9913

ANEXO N° 3



ANEXO N° 4

LECTURA DE MUESTRAS PARA DETERMINAR PLOMO

PARÁMETROS ESPECTROMÉTRICOS

Longitud de onda: 217.0 nm
Tipo señal: Tránsito
Tiempo Medida: 4.0 seg.
Medir Pico desde: 0.00
Modo de medida: Absorbancia
Rendija: 1.0 nm
Alta resolución: Encendido
Tipo de tránsito: Altura
Corriente de lámpara: 90 %

PARÁMETROS DE HORNO

Tipo de tubo: Normal
Temperatura de inyección: 50 °C

PROGRAMA HORNO (140.0 seg)

FASE	TEMP. (°C)	TIEMPO (Seg.)	RAMPA (°C/seg.)	Gas Tipo	Gas Flujo	Comandos
1	130	40.0	10	2	0.1 L/min	
2	700	30.0	15	2	0.1 L/min	
3	20	15.0	0	2	0.1 L/min	
4	1700	4.0	0	2	APAGADO	LSTC
5	2600	5.0	0	2	0.1 L/min	TC

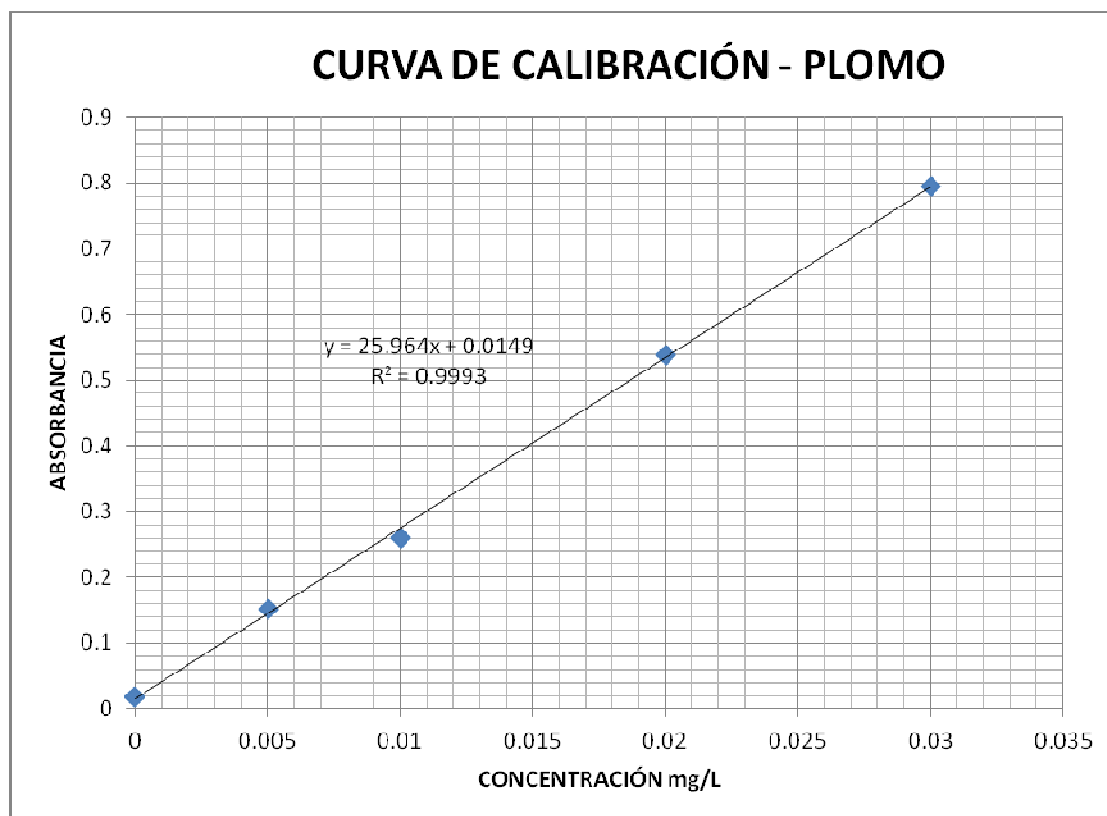
CURVA DE CALIBRACIÓN (Ver anexo N° 3)

Datos para hallar la curva de calibración del Plomo

CONCENTRACIÓN (mg/L)	ABSORBANCIA
0.000	0.0175
0.005	0.1512
0.01	0.2607
0.02	0.5381
0.03	0.7948

Ecuación: $ABS = 0.02597 (Conc.) + 0.0149$
Coeficiente de regresión: 0.9993

ANEXO N° 5




UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA
**CENTRO DE INFORMACIÓN, CONTROL TOXICOLÓGICO
Y APOYO A LA GESTIÓN AMBIENTAL - CICOTOX**

ANÁLISIS DE AGUAS - CERRO DE PASCO
MÉTODO: ESPECTROFOTOMETRIA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Nº DE PROTOCOLO	FECHA	ANÁLISIS	MUESTRA	RESULTADO [mg/L]
70342	15/09/2014	CADMIO	AGUA 1-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 7:15 H	0.1076
70344	15/09/2014	CADMIO	AGUA 2-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 7:30 H	0.0444
70346	15/09/2014	CADMIO	AGUA 3-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 7:45H	0.0086
70348	15/09/2014	CADMIO	AGUA 4-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 8:00 am	0.00364
70350	15/09/2014	CADMIO	AGUA 5-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 8:15H	0.0016
70352	15/09/2014	CADMIO	AGUA 6-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 8:30H	0.00132
70354	15/09/2014	CADMIO	AGUA 7-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 8:45 am	0.00216
70356	15/09/2014	CADMIO	AGUA 8-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 7:15 am	0.02392
70358	15/09/2014	CADMIO	AGUA 9-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 7:30 am	0.00864
70360	15/09/2014	CADMIO	AGUA 10-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 7:45 H	0.00304
70362	15/09/2014	CADMIO	AGUA 11-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 8:00 am	0.00264
70364	15/09/2014	CADMIO	AGUA 12-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 8:15 H	0.02128
70366	15/09/2014	CADMIO	AGUA 13-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 8:30 H	0.00492
70368	15/09/2014	CADMIO	AGUA 14-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 8:45 am	0.01748
70370	15/09/2014	CADMIO	AGUA 15-CERRO DE PASCO ZONA ALTA 7:15 H	0.00452
70372	15/09/2014	CADMIO	AGUA 16-CERRO DE PASCO ZONA ALTA 7:30 H	0.00696
70374	15/09/2014	CADMIO	AGUA 17-CERRO DE PASCO ZONA ALTA 7:45 am	0.00672
70376	15/09/2014	CADMIO	AGUA 18-CERRO DE PASCO ZONA ALTA 8:00 am	0.01532
70378	15/09/2014	CADMIO	AGUA 19-CERRO DE PASCO ZONA ALTA 8:15H	0.01052
70380	15/09/2014	CADMIO	AGUA 20-CERRO DE PASCO ZONA ALTA 8:30H	0.01536

Director de CICOTOX
 Mg. Q.F. César A. Canales Martínez
 Esp. Toxicología & Química Legal
 C.Q.F.P. N° 01374
 R.N.E. N° 004
 D.N.I. N° 06269670



Dina Rubila Rojas Lara
 QUÍMICO FARMACÉUTICA
 CQFP: 12057

"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico - Lima 1 - Perú - Telfs.: (511) 6197000 anexo 4814 / 3284737 anexo 14 Fax (511) 3287398 - Ap. Postal 1760 - Lima
 E-mail: cicotox@unmsm.edu.pe <http://www.unmsm.edu.pe/farmac>



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA

CENTRO DE INFORMACIÓN, CONTROL TOXICOLÓGICO
Y APOYO A LA GESTIÓN AMBIENTAL - CICOTOX

ANÁLISIS DE AGUAS - CERRO DE PASCO

MÉTODO: ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Nº DE PROTOCOLO	FECHA	ANÁLISIS	MUESTRA	RESULTADO [mg/L]
70343	15/09/2014	PLOMO	AGUA 1-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 7:15 H	0.2464
70345	15/09/2014	PLOMO	AGUA 2-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 7:30 H	0.1672
70347	15/09/2014	PLOMO	AGUA 3-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 7:45H	0.0308
70349	15/09/2014	PLOMO	AGUA 4-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 8:00 am	0.324
70351	15/09/2014	PLOMO	AGUA 5-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 8:15H	0.1476
70353	15/09/2014	PLOMO	AGUA 6-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 8:30H	0.5504
70355	15/09/2014	PLOMO	AGUA 7-CERRO DE PASCO ZONA BAJA 8:45 am	0.1528
70357	15/09/2014	PLOMO	AGUA 8-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 7:15 am	0.3084
70359	15/09/2014	PLOMO	AGUA 9-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 7:30 am	0.282
70361	15/09/2014	PLOMO	AGUA 10-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 7:45 H	0.1208
70363	15/09/2014	PLOMO	AGUA 11-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 8:00 am	0.2452
70365	15/09/2014	PLOMO	AGUA 12-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 8:15 H	0.1328
70367	15/09/2014	PLOMO	AGUA 13-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 8:30 H	0.2568
70369	15/09/2014	PLOMO	AGUA 14-CERRO DE PASCO ZONA MEDIA 8:45 am	0.002
70371	15/09/2014	PLOMO	AGUA 15-CERRO DE PASCO ZONA ALTA 7:15 H	0.4824
70373	15/09/2014	PLOMO	AGUA 16-CERRO DE PASCO ZONA ALTA 7:30 H	0.1812
70375	15/09/2014	PLOMO	AGUA 17-CERRO DE PASCO ZONA ALTA 7:45 am	0.126
70377	15/09/2014	PLOMO	AGUA 18-CERRO DE PASCO ZONA ALTA 8:00 am	0.2236
70379	15/09/2014	PLOMO	AGUA 19-CERRO DE PASCO ZONA ALTA 8:15H	0.2084
70381	15/09/2014	PLOMO	AGUA 20-CERRO DE PASCO ZONA ALTA 8:30H	0.1156

Director de CICOTOX

Mg. Q.F. César A. Canales Martínez

Esp. Toxicología & Química Legal

C.Q.F.P N° 01374

R.N.E. N° 004

D.N.I N° 06269670



Dina Rubila Rojas Lara
QUÍMICO FARMACÉUTICA
CQFP: 12057

"FARMACIA ES LA PROFESIÓN DEL MEDICAMENTO, DEL ALIMENTO Y DEL TÓXICO"

Jr. Puno N° 1002, Jardín Botánico - Lima 1 - Perú - Telfs.: (511) 6197000 anexo 4814 / 3284737 anexo 14 Fax (511) 3287398 - Ap. Postal 1760 - Lima
E-mail: cicotox@unmsm.edu.pe <http://www.unmsm.edu.pe/farmac>